SCIENCES ET AVENIR

©PATRICE NORMAND / LEEXTRA - MINISTOCKER/SHUTTERSTOCK

On a vu naître une planète

p.26

DOSSIER SPÉCIAL

ALZHEIMER

p.48

Le premier médicament
Le premier test sanguin

“Nous parviendrons à stopper le déclin cognitif”

Maï Panchal, directrice générale de la fondation Vaincre Alzheimer

SCIENCES ET AVENIR - N° 943 - SEPTEMBRE 2025 - SPÉCIAL ALZHEIMER

SEPTEMBRE 2025 - N° 943 - BEL 5,70 € - LUX 5,70 € - CH 9,50 CHF - D 7,40 € - IT 5,70€ - ESP 5,70 € - GR 5,70 € - PORT-CONT 5,70 € - DOM 5,90 € - NCAL 800 XPF - MAR 55 MAD - TUN 11 TND - CAN 8,20 $CAD

L 13418 - 943 S - F: 5,30 € - RD

Avec le soleil, on peut faire fondre sa facture d'électricité.

Avec **ENGIE My Power**, produisez votre propre électricité en installant des panneaux solaires sur votre maison.

Jusqu'à **1500€** TTC/an* **d'économie sur votre facture d'électricité.**

J'agis avec ENGIE My Power

En savoir plus

ENGIE My Power

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

*Exemple type pour 1500€ d'économie/an en moyenne sur 10 ans: maison située à Nice (06), orientée plein sud, inclinaison du toit 35° par rapport à l'horizontale, logement construit avant 1980, surface de 130m², chauffage et eau chaude sanitaire fonctionnant à l'électricité, climatisation, piscine, composé de quatre personnes et puissance installée de 5,1kWc. Le calcul des économies est réalisé à partir de données de production issues du site PVGis (prenant en compte l'inclinaison et l'orientation du toit), de données de consommation estimées grâce à la date de construction du logement et le nombre d'occupants (références obtenues avec le rapport RAGE 2014, ADEME) et d'un taux d'autoconsommation fixé à 68%. Informations données à titre indicatif, qui peuvent varier en fonction de la situation géographique du logement, des habitudes de consommation du foyer et du contrat d'électricité souscrit. Le montant en euros est calculé en multipliant les kWh autoconsommés (production solaire multipliée par le taux d'autoconsommation) avec un prix du kWh fixé à 0,3094€ pour les dix prochaines années. Ce prix est défini sur base du tarif réglementé Heures Pleines 9kVA applicable au 1er août 2023 sur lequel est appliquée une augmentation de 5% par an sur les dix prochaines années. Ce montant n'inclut pas la revente du surplus sur le réseau électrique ni les aides de l'État.

ENGIE MY POWER, SAS AU CAPITAL DE 9846000€, SIÈGE SOCIAL : 1 PLACE SAMUEL DE CHAMPLAIN 92400 COURBEVOIE, RCS NANTERRE 849 069 554. © Getty Images.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Un optimisme nouveau

Entre enthousiasme et prudence, nous avons l'habitude, à la rédaction de *Sciences et Avenir*, d'évoluer sur un fil ténu, en particulier lorsqu'il s'agit de médecine. Comment rendre compte des plus grandes avancées de la recherche médicale sans nourrir de faux espoirs chez les malades ? La question se pose tout particulièrement pour la maladie d'Alzheimer, ce fléau qui touche 1,4 million de personnes en France et concerne plus de 3,5 millions d'individus si l'on inclut les proches aidants. Ces dernières années, les plus grands espoirs de traitement de cette pathologie redoutable se sont mués en profondes déceptions. Nul n'a oublié l'aducanumab, mis au point par l'américain Biogen, dont les promesses d'amélioration cognitive ne se sont jamais concrétisées, tandis que ses effets indésirables, notamment les œdèmes cérébraux, se révélaient fréquents. Cet échec a même conduit à remettre en question l'approche dite amyloïde, qui consiste à s'attaquer aux dépôts de cette protéine dans le cerveau afin d'améliorer l'état des patients. Pourtant, il ne faut jamais renoncer à espérer. L'arrivée de deux nouveaux anticorps, le lécanémab et le donanémab, pourrait bien changer durablement la donne. *« Pour la première fois, il existe un traitement qui agit directement sur une cause identifiée de la maladie »*, nous confie Remy Genthon, directeur scientifique de la fondation Recherche Alzheimer *(p. 50)*. Et ce traitement se révélera d'autant plus efficace qu'il sera administré à un stade précoce de l'affection. C'est pourquoi la mise au point concomitante d'un test sanguin *(p. 56)* constitue une avancée tout aussi déterminante. *« Certes, le bénéfice reste modeste, mais ce n'est que le début »*, confirme Maï Panchal, directrice générale de la fondation Vaincre Alzheimer *(p. 54)*. Pour la première fois, l'espoir de transformer Alzheimer en une maladie chronique devient une perspective crédible, porteuse d'un optimisme nouveau. ■

L'espoir de transformer Alzheimer en une maladie chronique devient une perspective crédible

VOUS ÊTES ÉTUDIANT
ABONNEZ-VOUS DÈS MAINTENANT
profitez d'une remise exceptionnelle
en scannant ce QR code

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK - 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15
Rédaction en chef Les Dossiers Vincent REA - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Hugo JALINIÈRE (Sciences et Avenir) - 01.55.35.56.52
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59, Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28, Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Chef(fe)s de service Rachel FLÉAUX (MULOT) (enquêtes) - 01.55.35.56.07, Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46, Hervé RATEL (adjoint, actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78, Mathias GERMAIN (La Recherche, biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33, Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Rédaction Marine BENOIT (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.23
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueur Jean-Gabriel GANASCIA
Ont participé à ce numéro , F. BOURON, A. CARLIEZ, F. COSTES, N. GUTIERREZ C., C. JOURDAN, P. KALDY, A. NEYRAT, E. TISSANDIÉ
1re secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Pôle digital Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24, Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Yann BOURDAIS chef de projet junior - Flora ISSINGUI cheffe de projet marketing digital
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Creatoprint
Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directrice de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution : Émilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable réabonnement: Yasmina FERHAT – 01.55.35.56.64
Responsable du marketing direct Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements – Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58

Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte: un encart « Linvosges », un encart « First Voyages » et un message « Sciences et Avenir » en diffusion partielle des abonnés ainsi qu'un encart « Fashion » sur la totalité de la diffusion abonnés.
Commission paritaire n° 0225 K 79712.
ISSN 3040-0457. Distribué par MLP.

LE GESTE RETROUVÉ

Reconstitution du torque celte de Montans

L'ÉCOLE des Arts Joailliers

Avec le soutien de Van Cleef & Arpels

ARTWORK BY ELISA SEITZINGER

MINISTÈRE DE LA CULTURE
Liberté
Égalité
Fraternité

MUSÉE D'ARCHÉOLOGIE NATIONALE

Domaine national de Saint-Germain-en-Laye

Centre archéologique de Montmartre

Guilloc-Graulhet

MUSÉE

3 JUILLET
21 SEPT.

Exposition

Entrée libre
16 bis bd Montmartre
75009 Paris

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 943 / Septembre 2025

DOSSIER P. 48

Alzheimer : l'espoir est relancé

La lutte contre cette maladie neurodégénérative s'intensifie et se concrétise : deux nouveaux médicaments ralentissent le déclin cognitif et un test sanguin permet un diagnostic plus rapide et plus fiable.

3 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

6 **ACTUALITÉS** Le télescope Vera-Rubin, une révolution pour l'astronomie / Collision record entre deux trous noirs

24 **Journal de l'IA : L'effondrement pas si inéluctable des IA**

25 **Chronique** par Jean-Gabriel Ganascia

26 **On a vu naître une planète**

31 **L'ère de la guerre subspatiale a commencé**

34 **Le mécanisme à l'origine des éclairs dévoilé**

NATURE

10 **ACTUALITÉS** Échec retentissant du traité antiplastique / La vie prolifère dans les abysses du Pacifique Nord

36 **Photovoltaïque : la fine révolution des cellules solaires**

44 **Le trésor génétique des pommes oubliées**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** Des millions de cancers de l'estomac évitables / Un nouveau groupe sanguin unique au monde

66 **Les boissons sucrées, vecteurs d'une pandémie silencieuse**

70 **Nutrition : L'assiette du sportif**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** Des vestiges du phare d'Alexandrie refont surface / Denisova a enfin un visage

76 **Retour à Palmyre, joyau blessé du désert**

81 **Cléopâtre, la reine de tous les fantasmes**

84 **Bande dessinée : une passionnante exploration de notre passé**

86 **Histoire des sciences : Quinquina, l'arbre mystérieux des Andes**

RENDEZ-VOUS

90 **Sélection livres**

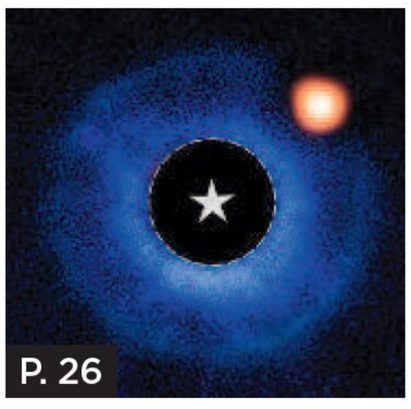
92 **Expositions**

94 **Questions de lecteurs**

95 **Courrier**

96 **Le ciel de septembre**

98 **À retrouver sur le Web**



P. 26

On a vu naître une planète

Le télescope spatial James-Webb est parvenu à voir directement une planète de la masse de Saturne, qui émerge tout juste autour de son étoile. De quoi en savoir plus sur l'origine de ces corps célestes.

P. 36

Photovoltaïque : la fine révolution des cellules solaires

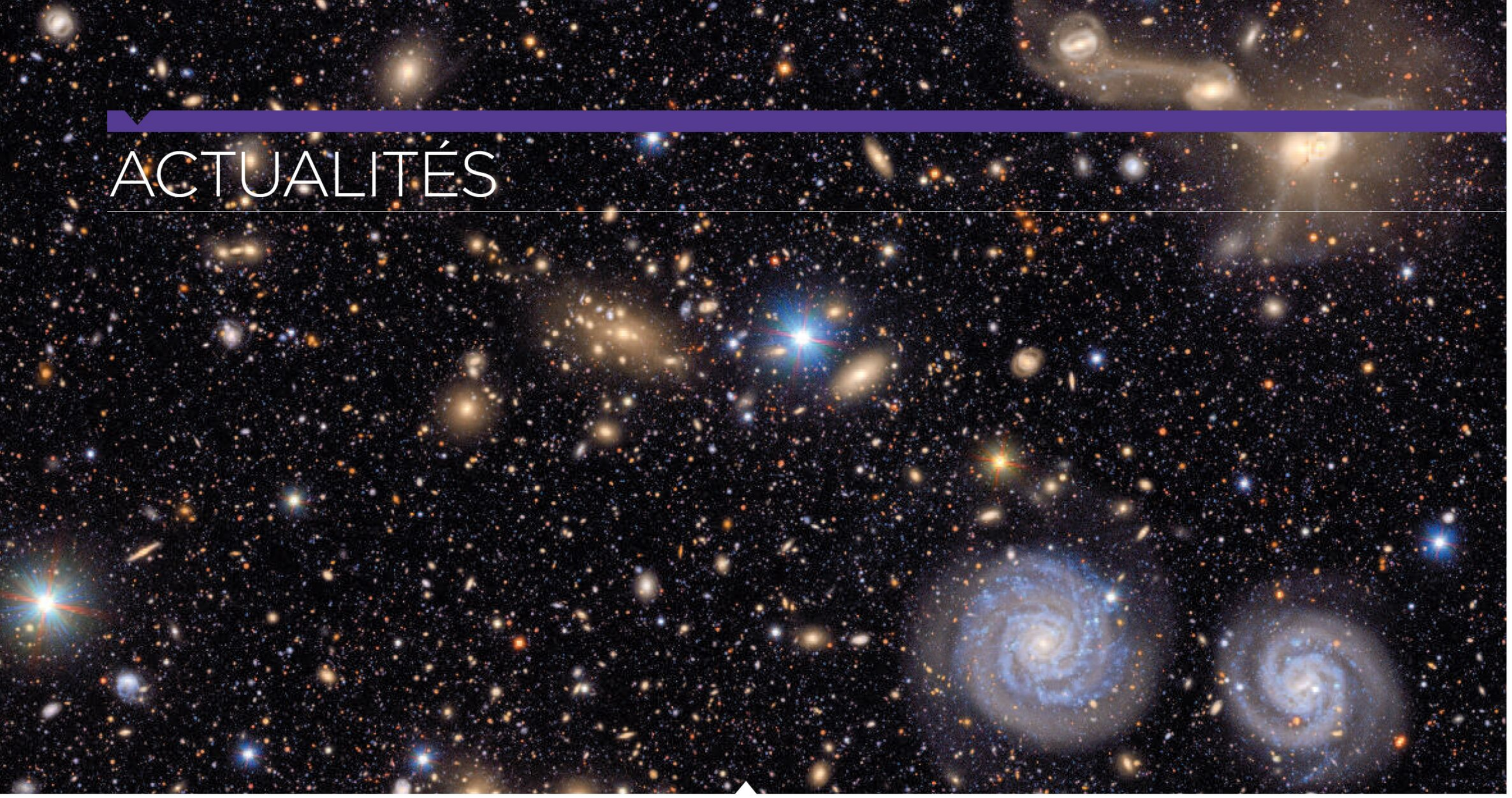
Les panneaux solaires font l'objet de recherches intenses afin d'améliorer leurs performances. Une nouvelle technologie à base de pérovskites a le vent en poupe.

P. 76

Retour à Palmyre, joyau blessé du désert

Reportage dans l'antique cité syrienne classée au patrimoine mondial. En majeure partie détruit après 14 ans de guerre, le site est l'objet de pillages et de fouilles clandestines.

THANASIS ZOVOILIS/ GETTY IMAGES - NASA, ESA, CSA, ANNE-MARIE LAGRANGE (CNRS, UGA), MAHDI ZAMANI (ESA/WEBB) - L. GODART/ CEA - PHILÉMON BARBIER / HORS FORMAT POUR SCIENCES ET AVENIR



Une petite partie de l'amas de la Vierge photographiée par le télescope Vera-Rubin. Parmi ces quelque 10 millions d'objets célestes, apparaissent notamment deux grandes galaxies spirales (en bas à droite) et trois galaxies en train de fusionner (en haut à droite).

Le télescope Vera-Rubin, une révolution pour l'astronomie

Perché au sommet d'une montagne chilienne, l'observatoire est fin prêt à cartographier le cosmos et bouleverser de nombreux domaines de l'astronomie.

Du sommet du Cerro Pachón, à 2680 mètres d'altitude au Chili, un nouvel instrument scrute le ciel avec une acuité jamais atteinte. Vingt ans après le lancement du projet cofinancé par la National Science Foundation et le département de l'Énergie américain, l'observatoire Vera-Rubin a publié ses premières images. Annoncées comme *« très attendues »* dans notre précédent numéro *(lire* S. et A. *n° 941/942)*, elles tiennent leurs promesses. Celle sélectionnée ci-dessus offre un aperçu époustouflant d'une petite section de l'amas de la Vierge. Outre deux galaxies spirales proéminentes, y sont visibles trois galaxies en train de fusionner, ainsi que des groupes de galaxies à la fois proches et lointains et des étoiles dans notre Voie lactée. En tout, plus de 10 millions de galaxies apparaissent, soit environ 0,05 % des quelque 20 milliards de galaxies que l'observatoire capturera au cours de son étude décennale sur l'espace et le temps.

La plus grande caméra numérique au monde

L'image marque en effet le début d'une mission ambitieuse : la Legacy survey of space and time (LSST), un relevé astronomique de dix ans qui enregistrera chaque nuit tous les changements visibles dans le ciel austral. Grâce à son télescope de 8,4 mètres équipé de la plus grande caméra numérique jamais conçue (3200 mégapixels), l'observatoire Rubin devrait générer au cours de sa première année plus d'informations que tous les télescopes optiques de l'histoire réunis. La mission servira en particulier à étudier la position et la forme de ces milliards de galaxies. Et mieux comprendre, ce faisant, la répartition de la matière noire et de l'énergie sombre, deux mystérieuses substances constituant plus de 90 % du cosmos. L'observatoire porte d'ailleurs le nom de l'astronome américaine Vera Rubin qui, à partir des années 1960, consolida l'hypothèse de la présence d'une matière noire invisible dans la périphérie des galaxies.

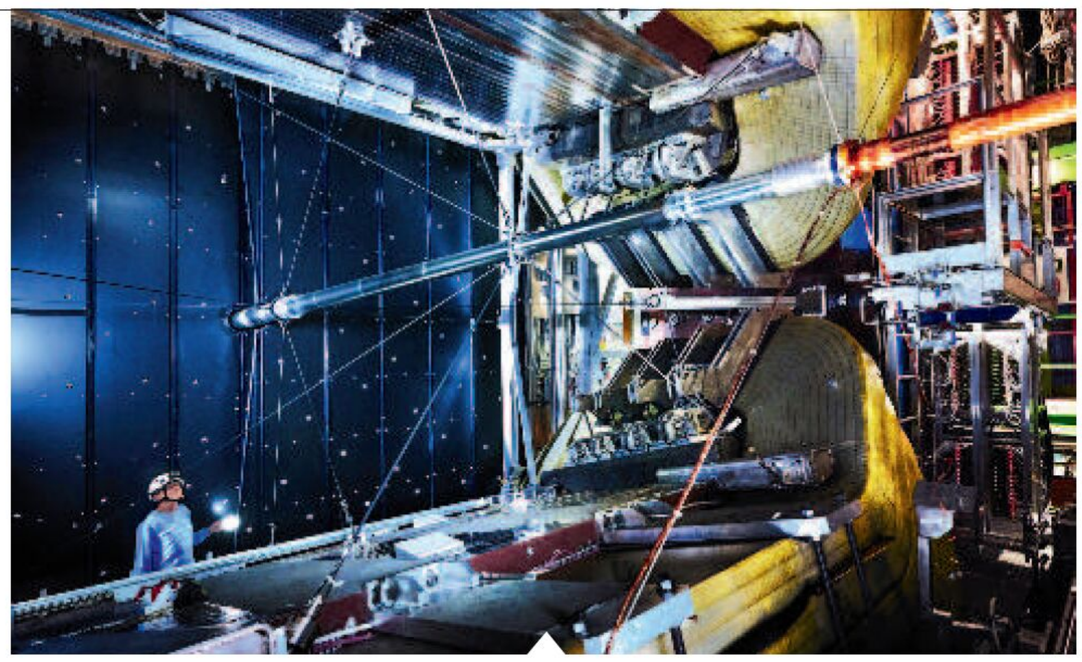
Le flux continu de données sera traité en temps réel pour une détection rapide des événements transitoires, comme les sursauts gamma ou les astéroïdes potentiellement dangereux. Car l'observatoire s'annonce aussi comme le plus performant des chasseurs d'objets du Système solaire. Sur les premières images publiées, il a déjà identifié 2104 astéroïdes jamais observés auparavant, dont sept géocroiseurs — des astéroïdes dont la trajectoire approche ou croise l'orbite terrestre. Selon les estimations, il devrait découvrir à lui seul des millions d'astéroïdes d'ici à deux ans, un apport majeur pour la défense planétaire. ■

J. I.

NSF–DOE VERA C. RUBIN OBSERVATORY

L'antimatière trahie par un baryon

Une petite dissymétrie entre un baryon et son antiparticule pourrait éclairer la disparition de l'antimatière dans l'Univers.



MAXIMILIEN BRICE/CERN

Les données collectées par le détecteur LHC du Cern à Genève (Suisse) ont permis de mettre en évidence l'écart de symétrie.

Un cousin du proton, le baryon lambda, vient de livrer un indice supplémentaire sur la disparition de l'antimatière au profit de la seule matière. Pour comprendre cette étrange absence, les physiciens traquent depuis des décennies les différences de comportement entre une particule et son antiparticule. Un écart vient justement d'être détecté là où l'on ne l'avait encore jamais vu : dans la désintégration d'un baryon, cette famille de particules qui comprend le proton et le neutron des noyaux atomiques. En analysant des collisions proton-proton enregistrées au LHC du Cern, à Genève (Suisse) entre 2011 et 2018, les chercheurs ont mesuré la fréquence à laquelle un baryon « lambda beauté » (Λb) se désintègre en un quatuor de particules. Ils l'ont comparée à celle de son antiparticule, censée suivre le même scénario, mais en version antimatière. Résultat : un léger déséquilibre en faveur de la matière. **F. N.**

EN DEUX MOTS

MARS De nouvelles analyses montrent que la plupart des glaciers se trouvant sur la planète Mars seraient composés d'environ 80 % de glace d'eau. **ESPACE** Les directeurs des agences spatiales russe, Roscosmos, et américaine, Nasa, se sont entendus pour prolonger l'exploitation de la Station spatiale internationale (ISS) jusqu'en 2028. **DÉCÈS** L'astronaute américain Jim Lovell, commandant de la célèbre mission lunaire Apollo 13, qui avait échappé de peu à la catastrophe, est mort le 7 août, à l'âge de 97 ans.

PA IMAGES/ICON SPORT

Les algorithmes ont été entraînés sur des vidéos montrant des tirs au but (ici l'Euro féminin 2025).

L'IA meilleure que les gardiens de but

INFORMATIQUE Entraînés sur 640 vidéos de penalty montrant la course des tireurs et la frappe de balle (pied droit ou gauche), des algorithmes se sont révélés plus performants que les gardiens pour anticiper la direction du ballon : à droite, à gauche ou au centre. Sans la prédiction du centre (direction de tir plus rare), la meilleure IA atteignait 63,9 % d'exactitude contre 46 % pour les gardiens. **A. D.**

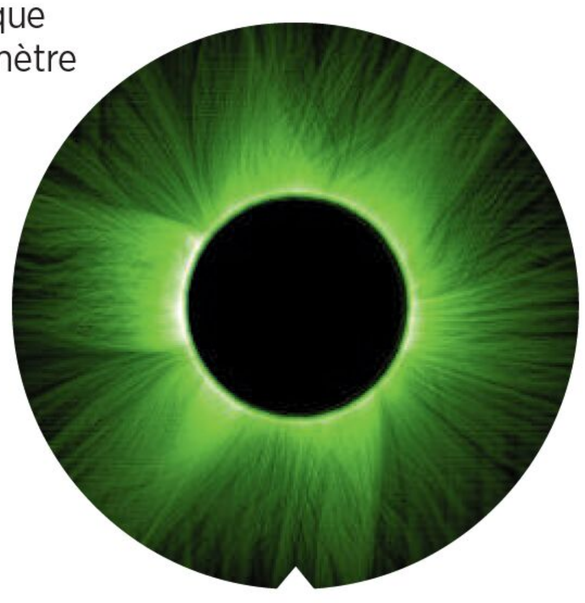
SOURCE : DAVID FREIRE-OBREGÓN, UNIVERSITÉ DE LAS PALMAS DE GRANDE CANARIE, ESPAGNE.

Course au nucléaire sur la Lune

ESPACE **Alors que la Russie et la Chine ont déjà affiché leur ambition d'installer un réacteur nucléaire sur la Lune d'ici au milieu des années 2030, la Nasa a annoncé qu'elle accélérait son propre projet de centrale de 100 kilowatts pour qu'il soit opérationnel dès 2030. Outre l'intérêt de fournir une énergie stable à de futures bases sélènes, de tels réacteurs créeraient des zones d'exclusion de sécurité pouvant bloquer *de facto* l'accès d'autres pays à des zones stratégiques. H. J.**

Une éclipse artificielle dans l'espace

ASTRONOMIE Grâce à deux satellites volant en formation à 150 mètres l'un de l'autre, la mission Proba-3 de l'Agence spatiale européenne a créé une éclipse artificielle dans l'espace pour observer la couronne solaire. Ce système autonome, qui comporte un disque occulteur de 1,4 mètre de diamètre, permet des éclipses de six heures toutes les 19 heures. Objectif : percer les mystères de la couronne, siège d'événements violents et encore mal compris du Soleil. **F. N.**

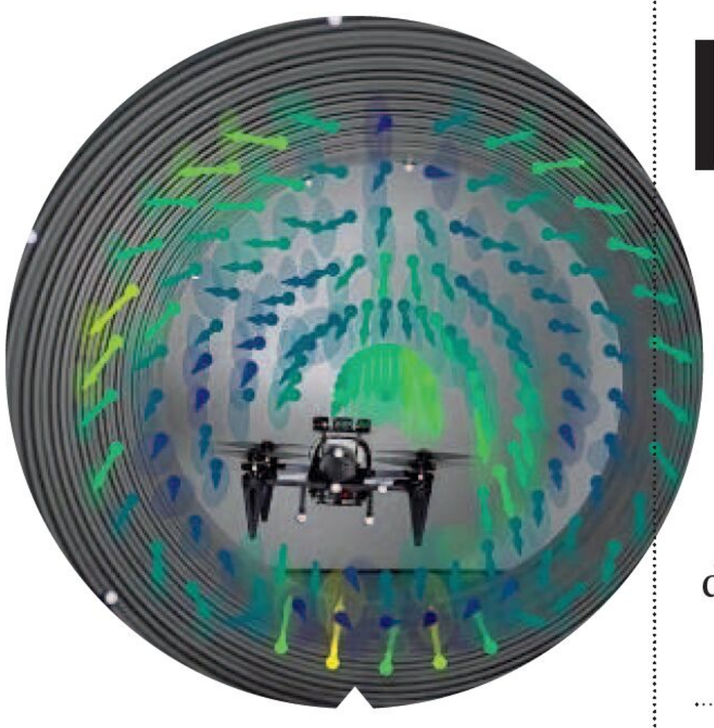


ESA/PROBA-3/ASPIICS/WOW ALGORITHM

La couronne solaire dévoilée grâce au satellite Occulter placé devant notre étoile.

1,51
MILLISECONDE
L'avance de la Terre sur sa rotation de 24 h

ASTRONOMIE La journée du 5 août a été la plus courte de l'année : notre planète a bouclé sa rotation journalière en avance sur sa durée standard de 86 400 secondes (24 heures). Une avance de 1,3 milliseconde avait été enregistrée les 9 et 22 juillet. Signe d'une accélération encore inexpliquée. **H. J.**



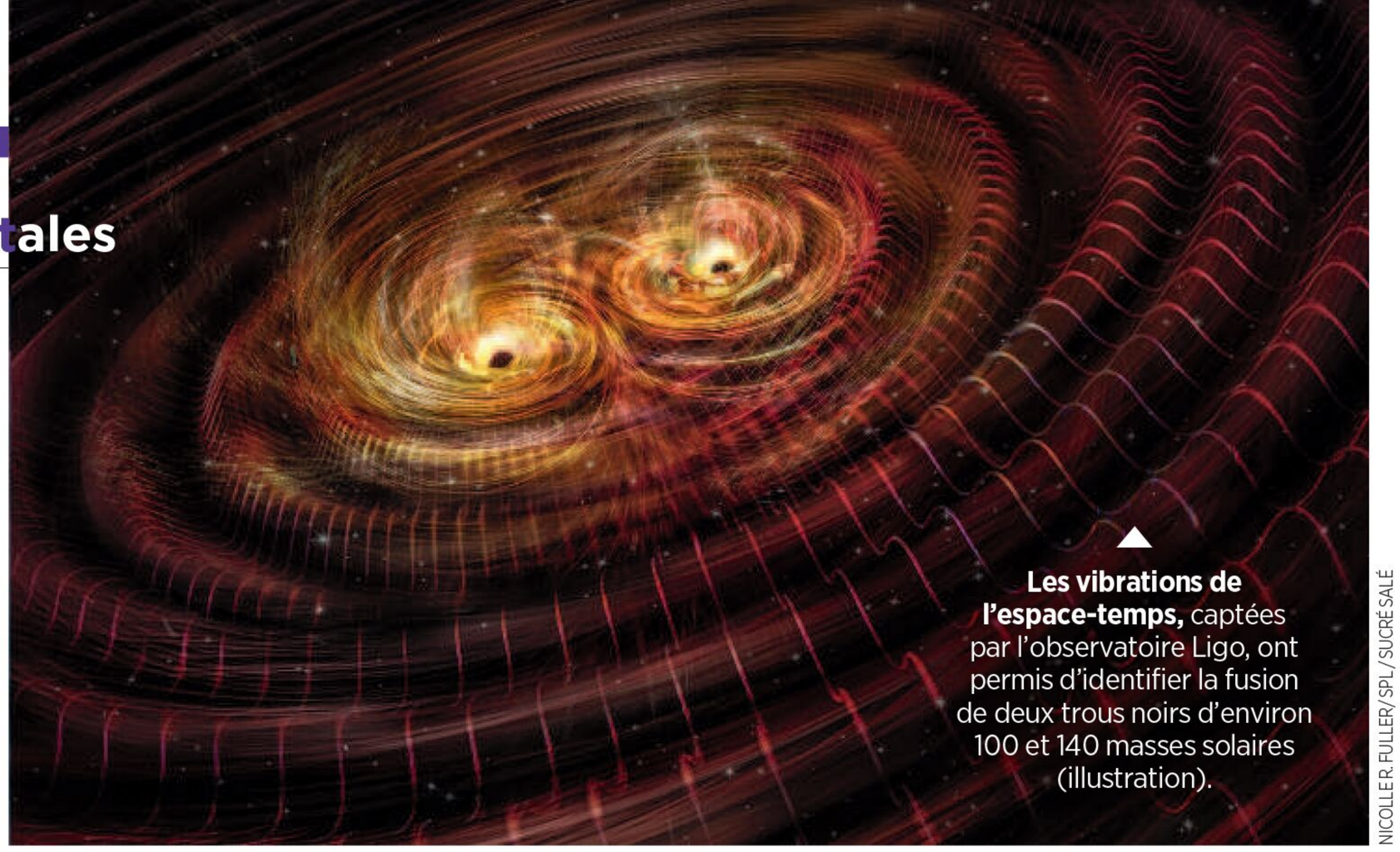
Le quadricoptère peut voler dans un conduit de 35 cm de diamètre.

G. DESTOMBES & THOMAS MARTIN / INRIA

Ce drone va inspecter les canalisations

INGÉNIERIE L'appareil de 18 cm de large parvient à voler dans des conduits de 35 cm de diamètre. Il a d'abord été maintenu par un bras articulé pour enregistrer au moyen d'un capteur de force les courants d'air et les turbulences. Ces données fournissent une cartographie des zones à éviter et des zones sûres. Le drone peut alors progresser en restant stable, guidé par les lasers indiquant la position des parois, faute de pouvoir utiliser une caméra. **A. D.**

SOURCE : THOMAS MARTIN, INRIA, FRANCE.



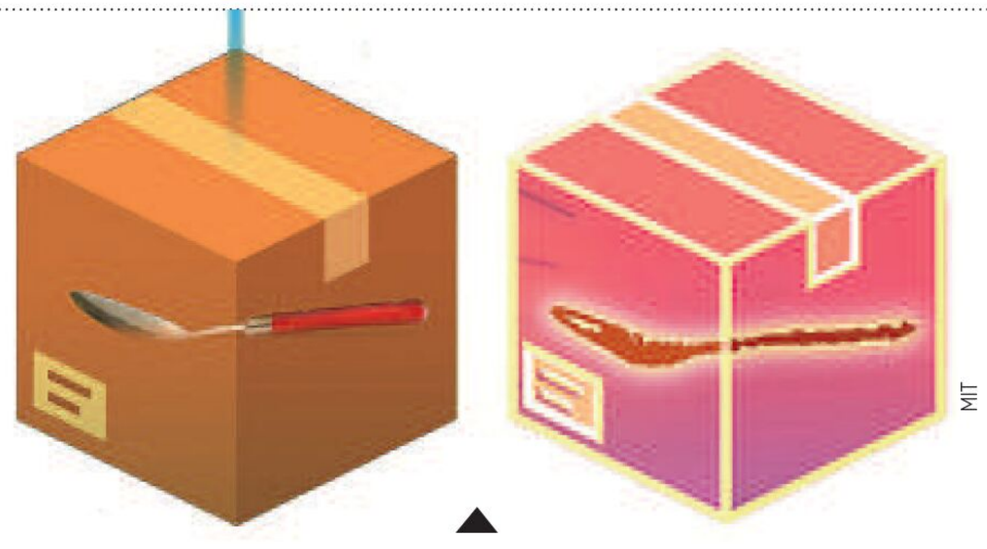
Les vibrations de l'espace-temps, captées par l'observatoire Ligo, ont permis d'identifier la fusion de deux trous noirs d'environ 100 et 140 masses solaires (illustration).

NICOLLE R. FULLER/SPL/SUCRÉ SALÉ

Collision record entre deux trous noirs

La plus grosse fusion de trous noirs jamais détectée par ondes gravitationnelles remet en question nos modèles d'évolution stellaire.

Le 23 novembre 2023, l'espace-temps a vibré sous l'impact d'un choc titanesque. Deux trous noirs d'environ 100 et 140 masses solaires ont fusionné, donnant naissance à un nouveau monstre cosmique de 225 masses solaires. Ce cataclysme, baptisé GW231123, et révélé le 14 juillet dernier, représente la plus massive fusion de trous noirs jamais observée par ondes gravitationnelles, le précédent record n'étant « que » de 140 masses solaires, en 2021. L'événement a été détecté par l'instrument américain Ligo, dans le cadre du 4e cycle d'observation de la collaboration internationale Ligo-Virgo-Kagra (LVK), réunissant les deux détecteurs américains, l'italien Virgo et le japonais Kagra. Au-delà du record, cette collision défie les modèles de formation des trous noirs. En effet, des astres aussi massifs ne peuvent pas se former directement par effondrement d'étoiles. Ils seraient probablement issus de fusions antérieures de trous noirs plus petits. **F. N.**



Le système reconstruit en 3D les objets à l'intérieur de l'emballage.

MIT

Un radar de précision pour voir à travers le carton

ROBOTIQUE Des chercheurs ont mis au point un radar à ondes millimétriques capable de traverser les emballages carton et permettant ainsi de sonder et identifier les objets qui se trouvent à l'intérieur. Destiné au monde des entrepôts et de la logistique, le système fonctionne grâce à un émetteur-récepteur fixé sur un bras robotique utilisé pour le tri de colis. **A. D.**

SOURCE : LAURA DODDS, MIT, ÉTATS-UNIS.

Un nouveau visiteur interstellaire

ASTRONOMIE Un nouvel objet venu de l'extérieur du Système solaire, nommé 3I/Atlas, a été découvert le 1er juillet par l'observatoire El Sauce (Chili), du réseau Atlas. Après 1I/Oumuamua en 2017 et 2I/Borissov, la comète 3I/Atlas est le troisième objet interstellaire identifié. Avec un diamètre estimé à 320 mètres et un âge de 7 milliards d'années, il traverse notre système à la vitesse vertigineuse de 58 km/s (208 800 km/h). Il atteindra son point le plus proche du Soleil fin octobre. **H. J.**

PARKSIDE®

LA PREMIÈRE MARQUE DE BRICOLAGE EN EUROPE

PARKSIDE®
#1
est la première marque de Bricolage en Europe*
Source : EUROMONITOR INTERNATIONAL

EN VENTE LE LUNDI 01/09

710 W

PARKSIDE®
Taille-haies à manche long
L'unité.

Également en ligne

GARANTIE 3 ANS JAAR JAHRE GARANTIE

59.- €

Dont 0,61 € d'éco-participation

PARKSIDE®
Sac à végétaux
L'unité ou le lot au choix.

Également en ligne

3.79 €

Env. 45,2 x 78 cm (Ø x h)

Année 2025 - LIDL RCS Nanterre 343 262 622 - Imprimé en UE - Jusqu'à épuisement des stocks

**Source : Euromonitor International Limited ; en termes de valeur des ventes au détail (RSP) en 2024, basé sur une recherche personnalisée menée en mars 2025. La définition des produits de bricolage inclut les outillages à main, les outils électriques, la quincaillerie, les autres outils pour amélioration de la maison, les équipements de jardinage, les pots et les jardinières, la peinture, les revêtements de murs et de sols. L'Europe correspond à l'Europe occidentale et à l'Europe orientale hors Russie, Ukraine et Turquie.*

LIDL

Le vrai prix des bonnes choses

CHAIDEER MAHYUDDIN / AFP

450 millions de tonnes de plastiques sont produites chaque année dans le monde (ici une décharge en Indonésie).

Échec retentissant du traité antiplastique

L'accord mondial tant espéré pour réduire la production de plastique, et donc la pollution, n'a finalement pas abouti.

Le mandat voté par les 195 États membres de l'ONU en mars 2022 a échoué. Au petit matin du 15 août, les négociateurs du traité mondial sur les plastiques ont dû constater qu'il n'y avait pas de consensus sur un texte de lutte contre cette pollution qui empoisonne l'eau, l'air, les sols, les océans et contamine les organismes vivants, y compris les humains. Deux positions se sont révélées inconciliables. La première, portée par une centaine de pays, voulait obtenir une réduction de la production des « polymères primaires », la matière de base des plastiques. La seconde, défendue par une vingtaine d'États pétroliers — dont la Russie, l'Inde, la Chine ou les États-Unis —, ne voulait agir que sur la gestion des déchets par la voie de leur collecte et de leur traitement, soit par incinération, soit par recyclage.

Fabriqués à 99 % à partir de pétrole

Plus de 450 chercheurs issus d'une soixantaine de pays ont plaidé en vain pour une diminution de la production. Leurs travaux révèlent que la simple gestion des déchets ne suffira pas à endiguer la pollution des milieux, du fait de l'augmentation prévisible de la production. Selon l'OCDE, 450 millions de tonnes sont produites tous les ans et cette masse devrait tripler d'ici à 2060. D'ici à 2040, 20 000 millions de tonnes de plastiques auront été produites en cumulé, dont une infime partie sera recyclée ou incinérée. *« Rien que pour tenir compte de l'impact des plastiques sur le climat* [ils sont fabriqués à 99 % à partir de pétrole] *et respecter l'accord de Paris, il faudrait réduire leur production de 11,8 à 17,3 % par an »*, révèle Marie-France Dignac, directrice de recherche à l'Inrae et membre de la coalition des scientifiques pour un traité sur les plastiques.

Les États vont donc se partager entre ceux qui adoptent des politiques nationales restrictives et ceux qui laissent faire. L'ONU devra prochainement décider si un nouveau round de négociations doit être organisé pour résoudre une pollution globale que plus personne ne peut ignorer. **L. C.**

ELLE A DIT

« Ce sont un peu les rossignols de l'océan Austral »

Tracey Rogers, professeure d'écologie marine à l'université de Nouvelle-Galles du Sud (Australie), rapportant les résultats d'une étude sur les léopards de mer mâles. Lorsque ces phoques plongent dans les eaux glacées de l'Antarctique, ils « chantent » des mélodies structurées comme des comptines, au cours de performances qui peuvent durer jusqu'à 13 heures.

A. NARENDRA, MACQUARIE UNIVERSITY

« Agrotis infusa » parcourt plus de 1000 km au printemps.

Les papillons bogongs migrent grâce aux étoiles

LÉPIDOPTÉROLOGIE C'est en se fiant aux étoiles que des milliards de papillons bogongs en Australie se réfugient chaque année sur le plateau Bogong, situé à plus de 1000 km de leur lieu de naissance, pour échapper aux chaleurs estivales, révèle une étude internationale. C'est le premier cas connu de migration nocturne grâce aux étoiles chez les invertébrés. Si le temps est couvert, ils poursuivent leur route en s'aidant du champ magnétique comme le font certains oiseaux migrateurs la nuit. **P. K.**

SOURCE : DAVID DREYER, UNIVERSITÉ DE LUND, SUÈDE.

Peace

& phone

SaferPhone

Le premier forfait qui protège vos enfants

Forfait mobile 5 Go + pack Protection Enfant

5,99 €/mois (1)(2)

- contrôle parental(3)
- alerte anti-cyberharcèlement(4)
- anti-spam appels mobile(3)
- accès aux Spécialistes Orange(5)

+ Ateliers parents spécial SaferPhone(6)

orange™

est là

Prix pour clients internet. Valable pour vos enfants de moins de 18 ans.

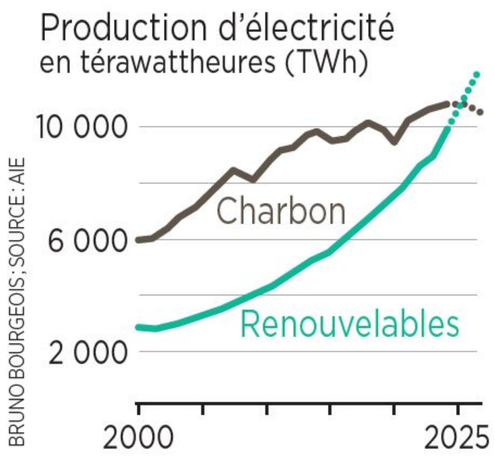
Pack Protection Enfant offert sur demande (uniquement pendant 12 mois pour l'alerte anti-cyberharcèlement).

***Peace & phone = paix et téléphone. Offre soumise à conditions, valable à partir du 03/07/2025 en France métropolitaine pour les nouvelles souscriptions de la Série Spéciale SaferPhone 5 Go (sauf changement de l'offre 2 h 100 Mo vers la Série Spéciale SaferPhone 5 Go). Sans engagement. 10 € de frais d'activation de la carte SIM. (1)** Tarif réservé aux particuliers dans la limite de 5 forfaits mobile par offre internet Orange incluant une remise de 4 € sur le tarif de la Série Spéciale SaferPhone 5 Go à 17,99 €/mois. Perte de la remise en cas de résiliation de l'offre internet ou de demande de suppression de la remise par le client internet. **(2)** Remise de 8 €/mois jusqu'aux 18 ans révolus de votre enfant sous réserve de renvoyer le formulaire de demande de remise dans les 4 mois suivant la souscription. Un seul remboursement par enfant. Perte de la remise en cas de changement d'offre ou de non-validation de la demande de remise (pour non-respect des conditions pour en bénéficier ou non-remise des pièces justificatives demandées). Détails et formulaires sur https://formulaires.services.orange.fr/14969 **(3)** Services anti-spam appels mobile et contrôle parental fournis par Orange offerts sur demande sous réserve de compatibilité technique des logiciels, systèmes d'exploitation et équipement à protéger. Perte des services en cas de changement d'offre. **(4)** Service d'alerte anti-cyberharcèlement, proposé par le partenaire SafeBear, offert sur demande pendant 12 mois. Bénéfice de la promotion subordonné à la création d'un compte (en utilisant le lien adressé par Orange) et à l'acceptation des conditions générales du service d'alerte anti-cyberharcèlement avant le 31/12/2025. Non cumulable avec toute autre promotion en cours. À l'issue des 12 mois, le client devra manifester sa volonté s'il veut continuer à bénéficier du service de manière payante (10 €/mois ou 48 €/an : tarif susceptible d'évolution, le prix applicable sera celui renseigné dans la fiche tarifaire du partenaire à la date du passage en payant). **(5)** Les Spécialistes Orange sont là pour vous accompagner dans l'installation du pack Protection Enfant, 7/7 j de 8 h à 22 h. Prise de RDV au 3900 ou sur votre Espace client. **(6)** Détails et infos sur les ateliers numériques sur inscription.orange.fr/ateliersnumeriques/special-saferphone

#For Good Connections

Le renouvelable passe en tête

ÉNERGIE En matière de production d'énergie, 2026 sera une année historique. Pour la première fois, la production d'électricité issue du solaire et de l'éolien va dépasser celle du charbon. Les énergies renouvelables pèseront 36 % de la production contre 32 % pour le charbon. L'an prochain, la production d'énergie va connaître une forte hausse de 3,7 % du fait de l'électrification des usages (véhicules électriques, data centers, etc.). Elle sera assurée à 90 % par le solaire. **L. C.**



À l'échelle mondiale, la production d'électricité renouvelable a plus que triplé en un quart de siècle.

IDSSE, CAS

Le submersible chinois Fendouzhe a pu observer des populations vivant jusqu'à -9533 mètres (illustration).

La vie prolifère dans les abysses du Pacifique Nord

Les chercheurs ont découvert une vie reposant sur les gaz libérés depuis les sédiments des grands fonds.

Une biodiversité abyssale insoupçonnée a été révélée dans les fosses des Kouriles et des Aléoutiennes, dans l'océan Pacifique. Décrite dans la revue *Nature*, cette vie rare s'étend sur plus de 2 500 km de long à des profondeurs comprises entre 5800 et 9533 mètres. Elle a pu être observée par le submersible chinois Fendouzhe, capable de descendre à -10 909 mètres (point le plus profond connu des océans) avec trois passagers à bord. Durant l'été 2024, il a plongé à 23 reprises entre le nord du Japon, l'est de la péninsule russe Kamtchatka et le sud-ouest de l'Alaska. C'est là que les scientifiques ont pu observer des vers, palourdes et anémones de mer autour de suintements froids (*cold seeps* en anglais). Ils s'y alimentent — probablement grâce à des symbioses avec des bactéries — du méthane et des autres gaz libérés de la croûte océanique. Le rôle des *cold seeps*, équivalents des fumeurs noirs des abysses, était jusqu'ici ignoré. **A. C.**

Des méduses forcent l'arrêt d'une centrale nucléaire

ÉNERGIE À Gravelines, près de Dunkerque, la plus grande centrale nucléaire d'Europe occidentale a dû être mise à l'arrêt en raison d'une *« présence massive »* de méduses. Elles étaient entrées dans le port de Dunkerque où la centrale pompe les eaux servant au refroidissement des réacteurs. Un risque connu qui *« n'a pas affecté le refroidissement des équipements assurant la sûreté des réacteurs »*, indique l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection. **H. J.**

9 521 MÈTRES

L'altitude record de SolarStratos

AÉRONAUTIQUE La mission aéronautique SolarStratos a annoncé que son avion à énergie solaire avait battu le record d'altitude détenu jusqu'ici par le Solar Impulse de Bertrand Piccard (9235 m). Une étape importante pour ce biplace en fibre de carbone de 24,8 mètres d'envergure recouvert de panneaux solaires, conçu pour démontrer qu'il est possible d'atteindre la stratosphère (au-delà de 12 000 m) grâce à l'énergie solaire. **H. J.**

F. DESMETTE / BIOSPHOTO

Les loutres sont de retour en France

BIODIVERSITÉ Disparue de la quasi-totalité de l'Hexagone durant la première moitié du XX^e siècle, la loutre d'Europe (*Lutra lutra*) est en passe de recoloniser ses anciens territoires.
La surface occupée par ces mammifères semi-aquatiques en France a progressé de 40 % entre 2009 et 2023 selon une étude.
La cartographie réalisée à partir des données disponibles montre une présence sur près de deux tiers du territoire, comprenant la moitié sud ainsi que la Bretagne et la Normandie. **H. J.**

SOURCE : SIMON LACOMBE, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FRANCE.

RÊVER À NOUVEAU C'EST TOUT UN APPRENTISSAGE

Apprentis d'Auteuil aide chaque année plus de 40 000 jeunes[1] en difficulté à bâtir leur avenir.

Soutenez-nous sur www.apprentis-auteuil.org

APPRENTIS D'AUTEUIL

La confiance peut sauver l'avenir

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2024.

2024. Agence Marcel - © Yann Le Pape

Quand les oiseaux changent de sexe

ORNITHOLOGIE Une étude portant sur 500 oiseaux de cinq espèces australiennes communes, dont les kookaburras, les pies, les pigeons et les loriquets, a révélé qu'environ 6 % des oiseaux présentaient les chromosomes d'un sexe mais les organes reproducteurs d'un autre. La plupart de ces changements impliquaient des oiseaux génétiquement femelles développant des gonades mâles. La cause de ce phénomène reste inexpliquée. **H. J.**

SOURCE : CLANCY HALL, UNIVERSITÉ DE LA SUNSHINE COAST, AUSTRALIE.

FRANÇOIS GOHIER / BIOSPHOTO

Le mammifère apporte parfois des proies mortes aux marins.

Les « offrandes » des orques aux humains

ÉTHOLOGIE L'orque s'approche spontanément d'une personne, lui donne sa proie capturée, attend, puis reprend son offrande… Bien que rare, la scène a été signalée dans tous les océans. Selon la première étude menée sur ces rencontres, il s'agirait d'un comportement convivial commun entre les orques qui l'étendraient parfois à une autre espèce identifiée comme prédatrice intelligente : les humains. **P. K.**

SOURCE : JARED TOWERS, INSTITUT BAY CETOLOGY, CANADA.

Une bactérie transforme le plastique en paracétamol

CHIMIE En modifiant génétiquement une souche d'*Escherichia coli*, une équipe est parvenue à faire transformer par ces bactéries des composants d'une bouteille usagée en plastique PET (recyclable) en paracétamol, soit la molécule antalgique la plus utilisée au monde. Au-delà de l'étonnante preuve de faisabilité, une application industrielle semble encore lointaine, selon eux. **H. J.**

SOURCE : NICK JOHNSON, UNIVERSITÉ D'ÉDIMBOURG, ÉCOSSE.

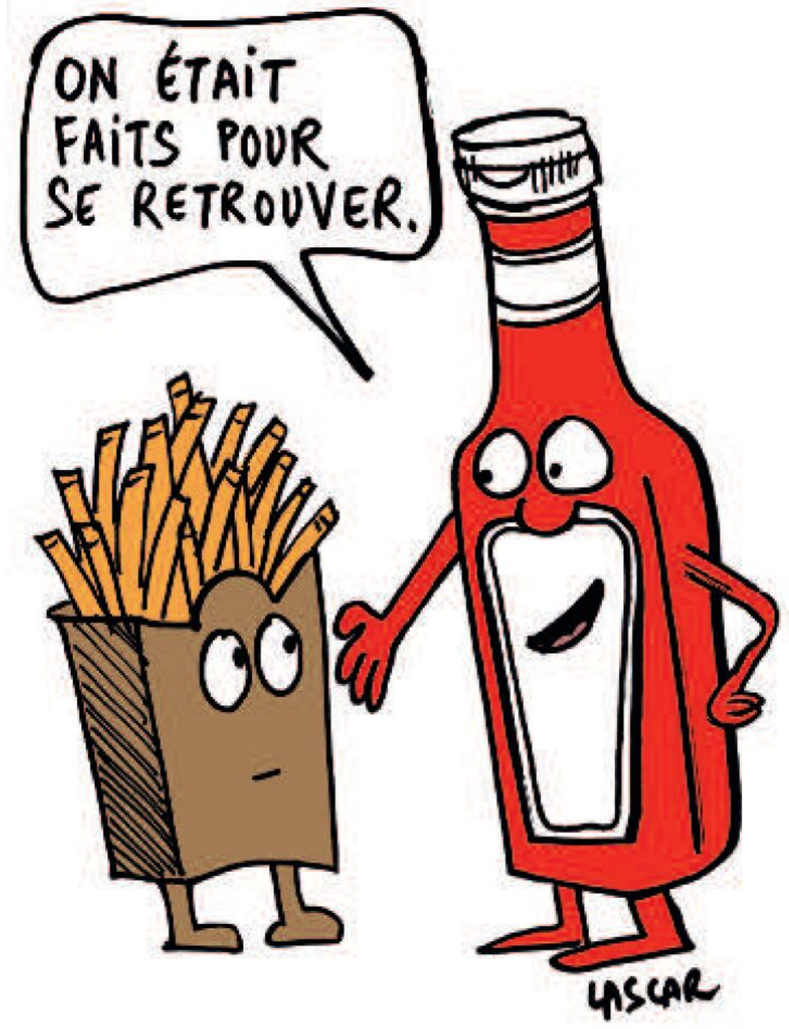
EDINBURGH INNOVATIONS

Les chercheurs ont utilisé des « E. coli » génétiquement modifiés.

Aux origines de la pomme de terre

Le tubercule descendrait d'une hybridation ancestrale entre une tomate et une pomme de terre sauvage.

Les botanistes de l'Institut de génomique agricole de Shenzhen (Chine) ont comparé les génomes de 450 variétés cultivées et 56 espèces sauvages de pommes de terre. Leur étude, parue dans *Cell*, indique que la patate actuelle (*Solanum tuberosum*) est issue d'un croisement naturel, il y a plus de 9 millions d'années, entre des lignées de tomates (*Solanum lycopersicum*) provenant de la côte est du Pérou, de l'Équateur et de la Colombie, et des lignées de pommes de terre sauvages originaires du Chili (*Solanum etuberosum*). Selon les botanistes, c'est aussi grâce à cette hybridation que les tubercules, partie charnue que nous mangeons, sont apparus. La tomate a apporté le gène SP6A, qui indique à la plante quand produire des structures tubéreuses. Et son action est complétée par le gène IT1 d'*Etuberosum* qui contribue au contrôle de la croissance des tiges souterraines. Sans ces deux gènes, pas de patate pour la raclette ! **A. C.**



111,7 MILLIONS D'HECTARES

La perte de terres naturelles au Brésil en 40 ans

ÉCOLOGIE Selon un rapport de l'initiative MapBiomas travaillant à partir d'images satellite, le Brésil a perdu l'équivalent de près de trois fois la superficie de l'Allemagne de terres naturelles au profit de l'agriculture, de l'exploitation minière et des infrastructures. Dont 52 millions d'hectares dans la région amazonienne du pays. **H. J.**

LES DOSSIERS

SCIENCES

ET **AVENIR**

OCÉAN

Le plus grand espoir de la planète

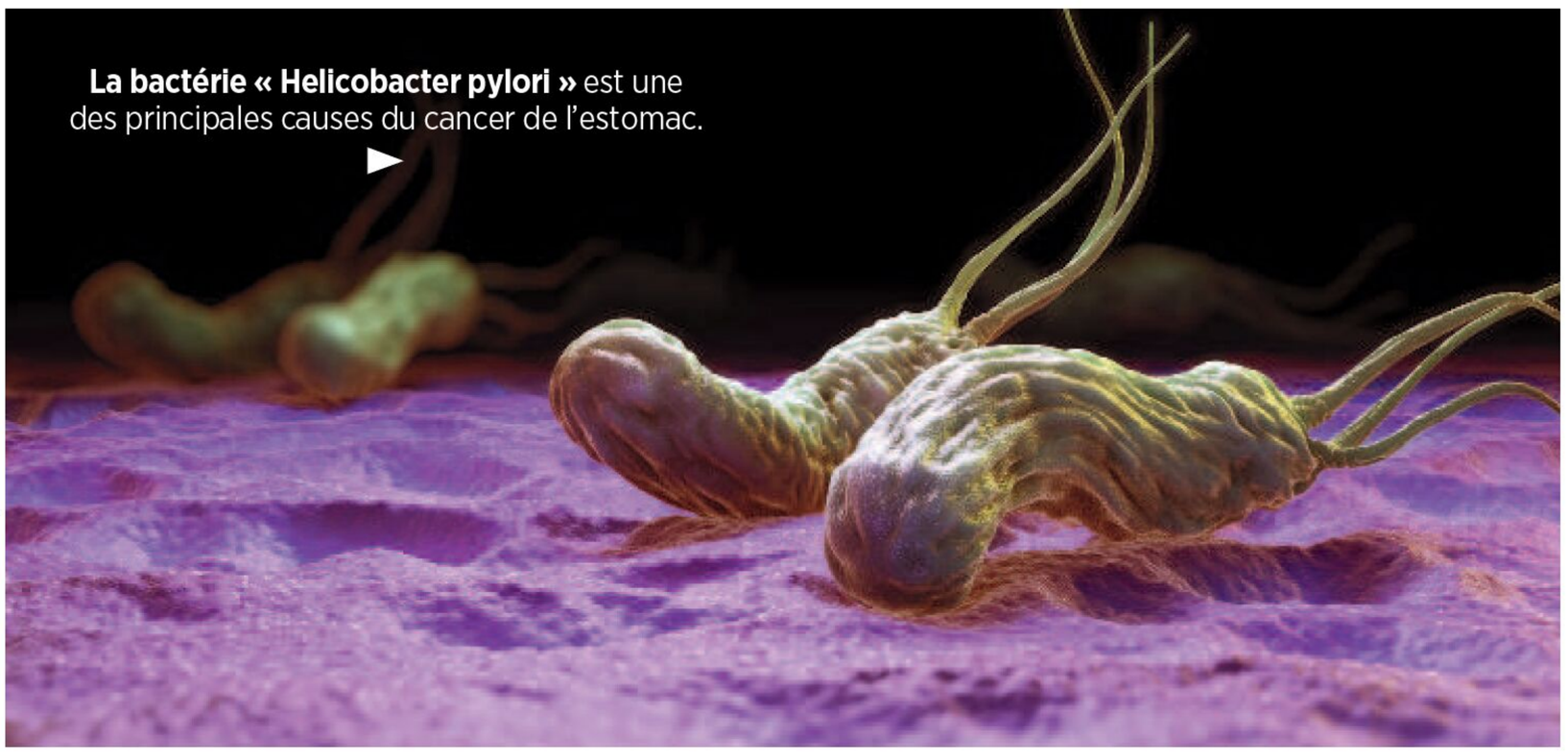
Avec

FRANCO BANFI/NATUREPL/E.BACCEGA

en vente en kiosque

Des millions de cancers de l'estomac évitables

Une étude alerte sur les risques de survenue de millions de cas de cancers gastriques si aucune politique de dépistage n'est mise en œuvre.



SCIENCE PICTURE COMPANY / BSIP

La bactérie « Helicobacter pylori » est une des principales causes du cancer de l'estomac.

Prévenir les cancers de l'estomac, principalement dus à la présence de la bactérie *Helicobacter pylori,* c'est possible. Pour sensibiliser les pouvoirs publics à l'importance de prendre des mesures de santé publique, une vaste étude épidémiologique française parue dans *Nature* vient de démontrer que si rien n'est entrepris, plus de 10 millions de cas de cancers gastriques dans le monde surviendront dans les années à venir pour les personnes nées entre 2008 et 2017.

Ce résultat impressionnant a été obtenu par une équipe du Centre international de recherche sur le cancer (Circ) à Lyon. Les épidémiologistes ont calculé leurs projections sur 185 pays pour aboutir à ce chiffre colossal, dont près de 45 000 cas rien qu'en France.

Un antibiotique permet d'éradiquer la bactérie

Pour rappel, cette infection s'acquiert le plus souvent dans l'enfance avant l'âge de 5 ans, par transmission orale ; les conditions de vie, d'hygiène et, surtout, la qualité de l'eau jouant un rôle déterminant. Une fois dans l'estomac, la bactérie s'accroche à la muqueuse, provoquant chez la plupart des personnes une gastrite chronique sans conséquence et souvent sans symptômes. Mais dans 10 % des cas, des ulcères gastro-duodénaux peuvent survenir et, plus rarement (1 %), un cancer de l'estomac, en association avec des facteurs génétiques, alimentaires et environnementaux. Or, on sait aujourd'hui non seulement détecter la présence de la bactérie (tests sanguins, respiratoires, biopsies) mais aussi la traiter (antibiotiques pendant 14 jours). Bien suivi, ce traitement permet l'éradication de la bactérie cancérogène dans 90 % des cas.

Ces stratégies de dépistage et de prévention ne sont toutefois que très rarement appliquées — uniquement au Japon à ce jour — car trop coûteuses pour les systèmes de santé. Reste l'espoir d'un vaccin qui serait encore plus efficace… mais là, les études peinent à trouver leur financement.

S. R.-M.

7000

Le nombre de pas quotidien pour garder la forme

ÉPIDÉMIOLOGIE Inventé par une marque de podomètres dans les années 1960, l'objectif des 10 000 pas/jour a été revu à la baisse par une analyse de 57 études portant sur 160 000 personnes. Selon les chercheurs, les bénéfices santé de la marche sont obtenus dès le seuil des 7000 pas : soit une diminution de respectivement 38 %, 22 % et 14 % du risque de démence, de dépression et de diabète. **S. R.-M.**

SOURCE : DING DING, UNIVERSITÉ DE SYDNEY, AUSTRALIE.

Un premier traitement oral du post-partum

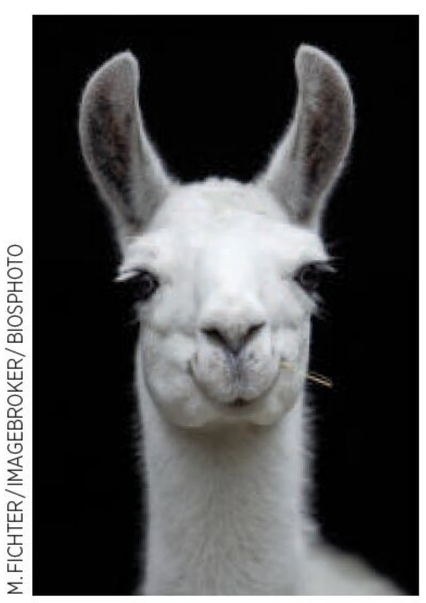
PSYCHIATRIE Avis favorable pour l'autorisation en Europe du premier médicament oral indiqué dans le *post-partum*, une dépression survenant dans les jours suivant un accouchement dans environ 10 à 15 % des cas. La zuranolone (Zurzuvae) n'est pas un antidépresseur mais un stéroïde neuroactif qui renforce l'activité du neurotransmetteur acide gamma (Gaba). **S. R.-M.**

PLAINPICTURE

10 à 15 % des mères sont touchées par une dépression après l'accouchement.

Stimuler le nerf vague contre la polyarthrite

RHUMATOLOGIE L'agence américaine du médicament (FDA) a approuvé la commercialisation d'un stimulateur du nerf vague contre la polyarthrite rhumatoïde. Le dispositif, implanté au niveau du cou sur ce large faisceau de fibres nerveuses reliant le cerveau à la plupart des organes vitaux, délivre des impulsions électriques. En stimulant le nerf, celles-ci permettent de réduire l'inflammation caractéristique de cette maladie chronique des articulations. **H. J.**

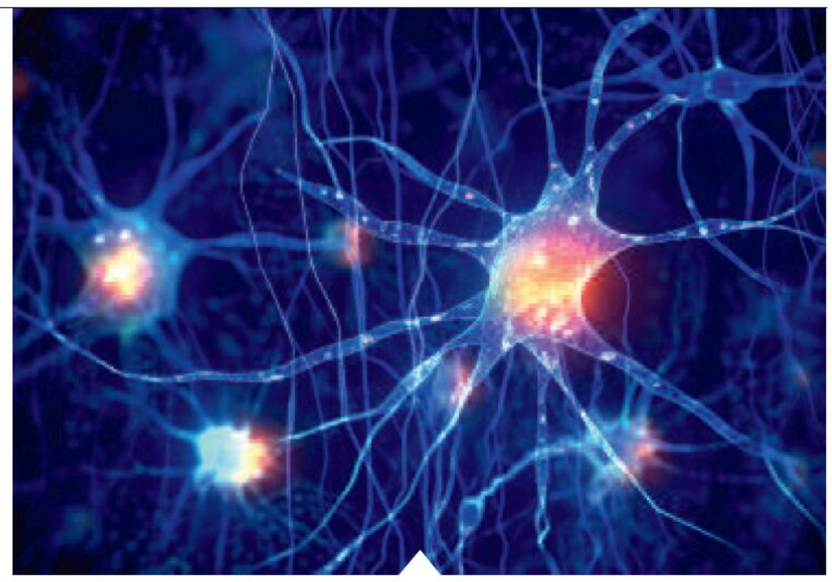


M. FICHTER / IMAGEBROKER / BIOSPHOTO

Des anticorps de lama au secours du cerveau humain

PSYCHIATRIE Les anticorps de lama ont la particularité d'être de petite taille. Une étude française démontre pour la première fois que ces « nanocorps » franchissent la barrière hémato-encéphalique pour atteindre le cerveau. Un espoir dans le traitement de la schizophrénie, selon les premiers essais menés ici sur des rongeurs, mais aussi d'autres maladies du cerveau. **S. R.-M.**

SOURCE : M. OOSTERLAKEN, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FRANCE.



GETTY IMAGES

À l'âge adulte, une zone du cerveau humain continue à produire 700 nouveaux neurones chaque jour.

L'hippocampe renouvelle ses neurones

NEUROLOGIE Chez notre espèce aussi, l'hippocampe, double structure centrale du cerveau responsable de la mémorisation, produit de nouveaux neurones tout au long de la vie, confirme une étude. La prolifération de ces cellules nerveuses, probablement limitée à cette région dans le cerveau humain, est plus importante chez l'enfant puis se stabilise à environ 700 nouveaux neurones par jour. **P. K.**

SOURCE : IONUT DUMITRU, INSTITUT KAROLINSKA, SUÈDE.

EN DEUX MOTS

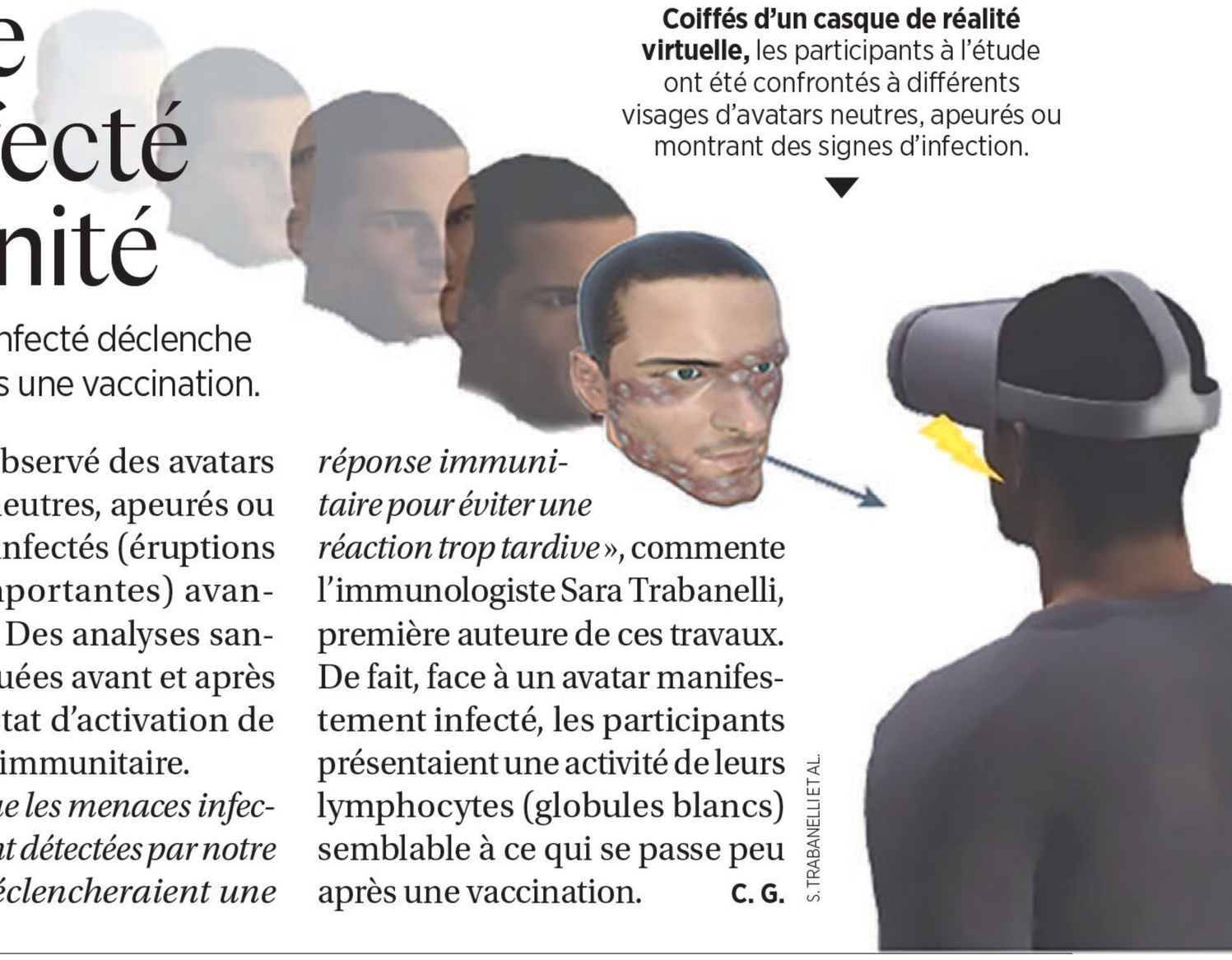
POLLUTION Une méta-analyse regroupant les données de 30 millions de personnes confirme que les particules émises par la pollution peuvent pénétrer le cerveau et augmenter le risque de démence. **CANCER** Des chercheurs américains montrent que l'IA pourrait permettre de détecter des cancers précoces du larynx à partir du son de la voix. **NEUROLOGIE** Une greffe de cellules souches sur des souris modèles de la sclérose en plaques a permis de restaurer la myéline, essentielle à la circulation des influx nerveux.

L'approche d'un visage infecté active l'immunité

La proximité avec un individu manifestement infecté déclenche une réaction comparable à celle observée après une vaccination.

La simple vue d'une personne présentant des signes d'infection stimule autant votre système immunitaire qu'un vaccin dans les premières heures suivant l'injection. C'est l'étonnante observation rapportée dans *Nature Neuroscience* par une équipe de l'université de Lausanne (Suisse). Casque de réalité virtuelle sur la tête, 248 personnes ont observé des avatars aux visages neutres, apeurés ou visiblement infectés (éruptions cutanées importantes) avancer vers eux. Des analyses sanguines effectuées avant et après ont révélé l'état d'activation de leur système immunitaire.

« L'idée est que les menaces infectieuses seraient détectées par notre cerveau et déclencheraient une réponse immunitaire pour éviter une réaction trop tardive », commente l'immunologiste Sara Trabanelli, première auteure de ces travaux. De fait, face à un avatar manifestement infecté, les participants présentaient une activité de leurs lymphocytes (globules blancs) semblable à ce qui se passe peu après une vaccination. **C. G.**



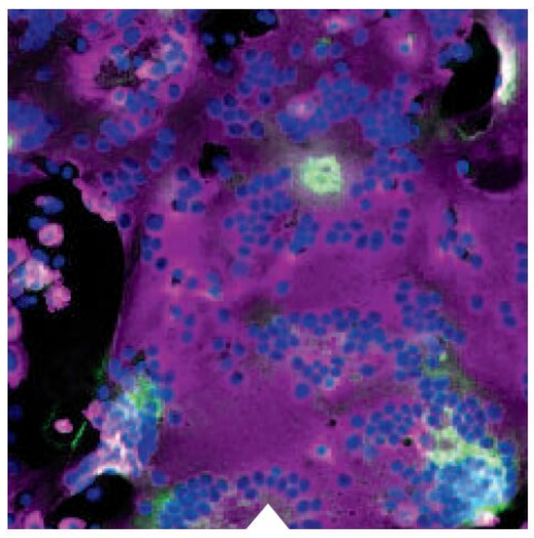
S. TRABANELLI ET AL.

Coiffés d'un casque de réalité virtuelle, les participants à l'étude ont été confrontés à différents visages d'avatars neutres, apeurés ou montrant des signes d'infection.

Covid long : persistance virale dans le tronc cérébral

NEUROLOGIE Parfois attribuée à un effet psychosomatique, la persistance prolongée de symptômes (fatigue, brouillard mental, douleurs musculaires ou articulaires…) après une infection au Covid-19 serait bien due à des causes biologiques. C'est ce qu'indique une étude montrant, chez le hamster, que le virus était toujours actif 80 jours après l'infection initiale, caché dans le tronc cérébral des rongeurs. Une durée qui, rapportée à l'espérance de vie de l'animal, pourrait représenter des années humaines. **C. G.**

SOURCE : ANTHONY COLEON, INSTITUT PASTEUR, FRANCE.



ANTHONY COLEON - INSTITUT PASTEUR

Cellules infectées par le Sras-CoV-2 chez un hamster.

Un nouveau groupe sanguin unique au monde

Cette découverte porte à 48 le nombre de systèmes de groupes sanguins reconnus.

GETTY IMAGES

« Gwada négatif » est le nom du groupe sanguin identifié chez une seule patiente grâce au séquençage à haut débit de ses gènes.

Une Française d'origine guadeloupéenne a été identifiée comme la seule porteuse connue d'un nouveau groupe sanguin, baptisé « Gwada négatif ». Ce qui porte à 48 le nombre de systèmes de groupes sanguins reconnus. *« C'est un* cold-case *immuno-hématologique vieux de 15 ans qui est résolu »*, se réjouit Thierry Peyrard, responsable de la qualité et la sécurité des produits sanguins à l'Établissement français du sang (EFS). En 2011, la patiente admise pour une chirurgie programmée à Paris passe une série de tests pré-transfusionnels qui révèlent qu'elle possède un anticorps réagissant avec tous les types de sang testés. Autrement dit, elle est incompatible avec tous les donneurs ! Ce n'est qu'à partir de 2019 que de nouvelles techniques d'analyse de l'ADN ont permis d'aboutir aux résultats présentés lors du dernier congrès de la société internationale de transfusion sanguine : elle est porteuse d'un gène qui rend ses globules rouges uniques. **J. I.**

38

Le nombre d'espèces bactériennes stockant les polluants éternels

MICROBIOLOGIE Plus de 38 espèces bactériennes de notre microbiote absorbent et séquestrent les PFAS, des polluants chimiques fluorés ultrastables, sans que leur croissance ne soit altérée. Des études à plus long terme d'absorption chronique par l'organisme humain devront déterminer l'efficacité de cette forme de protection. **P. K.**

SOURCE : ANNA LINDELL, UNIVERSITÉ DE CAMBRIDGE, ROYAUME-UNI.

LINDSEY PIERCE

Le plus vieux bébé de l'humanité

EMBRYOLOGIE Thaddeus Daniel Pierce (*photo*) est né le 26 juillet 2025 aux États-Unis. Il est issu d'un embryon conçu par fécondation *in vitro* en 1994 et congelé depuis. À l'époque, ses parents biologiques avaient pu obtenir quatre embryons grâce à cette technique, dont un seul avait été implanté chez la mère pour donner naissance à une fille. Les autres ont été cryoconservés, jusqu'à ce que la femme choisisse en 2024 de faire don d'un des trois embryons à un autre couple. Le bébé a donc une sœur biologique âgée de 30 ans. **H. J.**

L'hémophilie B guérie par thérapie génique

GÉNÉTIQUE Sept patients traités par thérapie génique pour leur hémophilie B il y a plus de dix ans ne subissent plus les fréquentes hémorragies, ni les douleurs articulaires dues à leur maladie génétique. Preuve que le traitement reçu à l'époque en une seule injection est durablement efficace, montre une étude de suivi. Il est aujourd'hui commercialisé au prix de 3 millions d'euros. **P. K.**

SOURCE : ULRIKE REISS, HÔPITAL DE RECHERCHE POUR ENFANTS ST. JUDE, ÉTATS-UNIS.

Sophia Boutique, la boutique des lecteurs de SCIENCES ET AVENIR

OFFRE SPÉCIALE

La montre et le bracelet

La montre :
- Mouvement à quartz 3 aiguilles
- Boîtier en alliage doré 24 x 36 mm
- Bracelet maille milanaise finition dorée

Le bracelet :
- Jonc en alliage finition dorée
- Pierre verte en acrylique
- Strass cristal en verre

La montre Baltique

- Mouvement à quartz 3 aiguilles
- Cadran aspect graphite
- Aiguilles et index luminescents
- Boîtier 42 mm
- Bracelet en croûte de cuir façon daim

La montre chrono Circuit

- Mouvement à quartz 5 aiguilles
- Chronographe au 1/10è/s
- Boîtier 42 mm
- Bracelet en cuir lisse fauve

La sacoche multi-poches

- Cuir véritable grainé
- Bandoulière réglable
- 2 compartiments
- Doublure en polyester
- Dimensions : 19 x 15 x 6 cm

Tous nos produits sont garantis 2 ans - Délais de livraison : 15 jours maximum - Dans la limite des stocks disponibles

photos non contractuelles

BON DE COMMANDE

À compléter et à renvoyer avec votre règlement sous enveloppe affranchie à :
SOPHIA BOUTIQUE
45, avenue du Général Leclerc
60643 Chantilly Cedex

DÉSIGNATION	RÉF	QTÉ	PRIX	TOTAL
La montre et le bracelet	V176		39€	€
La montre Baltique	V170		29€	€
La montre chrono Circuit	V217		49€	€
La sacoche multi-poches	V195		39€	€
Frais d'envoi				OFFERTS
TOTAL DE MA COMMANDE				€

ADRESSE DE LIVRAISON

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal

Ville :

Téléphone

E-mail : @

Pour la bonne gestion de votre commande, merci d'indiquer votre email

☐ J'accepte de revoir des offres par email des partenaires de Sophia Boutique.

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par chèque à l'ordre de **Sophia Boutique**

Pour régler par carte bancaire merci de contacter le 01 55 56 70 54 en précisant le code PSCA943, ou rdv sur www.sophia-boutique.com

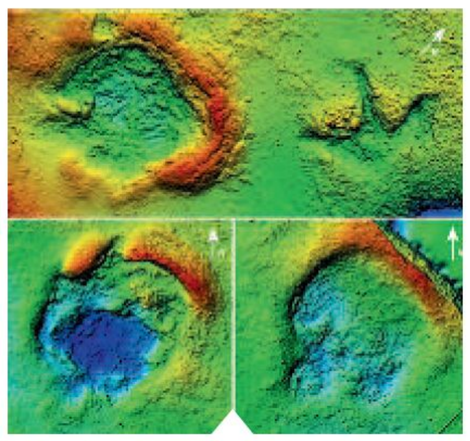
Les Éditions Croque Futur situées au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e, et qui éditent Sophia Boutique sont responsables de traitement et collectent des données afin de servir votre commande. Vos données pourront être transmises à d'autres organismes (presse, VAD, caritatif) et sont conservées pour une durée de 3 ans à partir de votre commande. Vous pouvez exercer vos droits d'accès, de rectification, de limitation, de portabilité, d'opposition, d'effacement au traitement de vos données et définir vos directives postmortem à l'adresse mail suivante : dpo@sophiaboutique.fr en joignant une copie de votre carte d'identité. Les Éditions Croque Futur disposent d'un délégué à la protection des données pouvant être contacté au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e ou à l'adresse mail dpo@sophiaboutique.fr. À tout moment vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL.

PSCA943

IL A DIT

« Imaginez une petite baleine avec de grands yeux et une bouche pleine de dents acérées : trompeusement mignonne, mais certainement pas inoffensive »

Ruairidh Duncan, paléontologue à l'université Monash en Australie, décrivant une nouvelle espèce de cétacé (*Janjucetus dullardi*) de la taille d'un dauphin, redoutable prédateur, qui parcourait les mers il y a 26 millions d'années.



PHIL R. BELL ET AL.

Plusieurs empreintes de pas avec leur niveau de profondeur.

Les dinosaures avançaient en troupeaux mixtes

PALÉONTOLOGIE Des empreintes de dinosaures révèlent un comportement inédit : cératopsiens à cornes et ankylosaures à armures ont marché ensemble, il y a 76 millions d'années. Découverte au Dinosaur Provincial Park (Canada), une piste témoigne du déplacement d'une harde mixte. Les empreintes indiquent également que deux tyrannosaures ont croisé leur route, peut-être pour observer leurs futures proies ? **J. I.**

SOURCE : PHIL BELL, UNIVERSITY OF NEW ENGLAND, AUSTRALIE.

GEDEON PROGRAMMES/CEALEX; ISABELLE HAIRY - CEALEX

Des vestiges du phare d'Alexandrie refont surface

Une mission archéologique sort de l'eau des blocs de l'édifice antique afin de reconstituer numériquement le phare.

Vingt-deux des plus gros blocs de la septième merveille du monde — le phare d'Alexandrie — ont été remontés des eaux du port égyptien, en juin, afin d'être étudiés et scannés. Cette opération exceptionnelle, qui s'inscrit dans le cadre du programme Pharos de reconstitution numérique du phare, intervient trente ans après la découverte des vestiges sous-marins de l'édifice antique par l'archéologue Jean-Yves Empereur. Pesant chacun entre 70 et 80 tonnes, les éléments comprennent des linteaux et des jambages de portes monumentales, des seuils et des dalles de fondation mais aussi des éléments jusqu'alors inconnus, comme un pylône avec sa porte de style égyptien et de technique grecque.

En fonction durant plus de 1600 ans

Cette démarche permettra d'aller plus loin que la numérisation sous-marine dont une centaine de blocs a fait l'objet il y a dix ans. Désormais plus « manipulables », les 22 pierres pourront être intégrées à une modélisation 3D complète qui permettra d'analyser leur morphologie et leur place dans la structure. *« Grâce aux simulations scientifiques et aux univers virtuels, les ingénieurs* [de la fondation Dassault Systèmes, qui finance en partie la fouille] *pourront tester toutes les hypothèses, de la construction de l'édifice aux raisons de sa chute, et réaliser son jumeau numérique,* affirme le CNRS. *Ce modèle virtuel redonnera vie à cette merveille disparue, révélant toute sa splendeur d'origine.* » Si les recherches sur le phare ont débuté dans les années 1960, ce n'est qu'en 1994 que des fouilles systématiques ont permis d'inventorier plus de 3000 blocs architecturaux, statues, sphinx et obélisques gisant entre 2,60 et 9 m de profondeur. Construit vers 280 avant J.-C. sur l'île de Pharos, sous Ptolémée I puis II, il mesurait 100 à 130 m de haut et guidait les navires vers le port égyptien grâce à un feu et à un système de miroirs réfléchissants. Resté en fonction plus de 1600 ans, il fut détruit par plusieurs séismes entre le Xe et le XIVe siècle. **M. B.**

L'une des sept merveilles du monde aura bientôt son jumeau numérique (en médaillon, sa porte monumentale reconstituée).

Denisova a enfin un visage

Un crâne fossile de 146 000 ans trouvé en Chine a été attribué aux dénisoviens, une lignée d'humains archaïques apparentés aux néandertaliens.

Découvert en 2021 par une équipe chinoise près d'Harbin, dans le nord-est de la Chine, un crâne fossile de 146 000 ans avait été décrit comme celui d'une nouvelle espèce humaine éteinte : *Homo longi*, surnommée l'homme dragon. Mais le matériel génétique et les protéines récupérés dans ses anciennes plaques dentaires viennent de révéler qu'il s'agissait en réalité d'un dénisovien, une lignée éteinte d'humains archaïques étroitement apparentés aux néandertaliens. Jusqu'ici, cette espèce d'*Homo* n'était connue qu'à partir d'ADN issu de quelques fragments osseux retrouvés dans la grotte de Denisova, dans le sud-ouest de la Sibérie. Et si, dès 2021, la communauté scientifique se doutait qu'il pouvait s'agir du crâne d'un homme de Denisova, les preuves manquaient. De fait, les tentatives d'extraction d'ADN exploitable de l'os épais et de la dent du crâne de Harbin sont restées vaines durant quatre ans. C'est Qiaomei Fu, généticienne à l'Institut de paléontologie et de paléoanthropologie des vertébrés de l'Académie chinoise des sciences, qui a eu l'idée de gratter un peu du tartre fossilisé sur la mâchoire supérieure pour obtenir du matériel exploitable. Et permettre d'offrir des traits quasi complets à l'homme de Denisova. **H. J.**

Q. FU ET AL.

Le crâne a pu être identifié grâce à l'analyse du tartre de sa mâchoire.

20 millions d'années
L'âge de protéines exploitables

PALÉOPROTÉOMIQUE C'est une petite révolution pour la paléontologie : des chercheurs ont pu récupérer des fragments de protéines piégés dans l'émail de dents de mammifères vieux de 20 millions d'années. Ils étaient assez bien conservés pour établir des arbres phylogénétiques. Cette percée ouvre la voie à l'étude de processus évolutifs bien antérieurs à ceux accessibles par l'ADN ancien. **J. I.**

SOURCE : DANIEL GREEN, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS.

Une mosaïque antique découverte à Alès

ARCHÉOLOGIE Un pavement en mosaïque aux couleurs remarquablement conservées a été mis au jour au sommet de l'Ermitage, colline dominant la ville d'Alès (Gard). Le décor géométrique de 2,5 m de côté pourrait faire partie d'une ancienne domus romaine. Les fouilles conduites sur 3750 m² par l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) ont révélé plusieurs habitations sur ce site témoin d'une occupation dense et discontinue entre le IIe siècle avant J.-C. et le VIe siècle de notre ère. **H. J.**

F. CHANDEVAU, INRAP

Le pavement polychrome, constitué d'entrelacs géométriques, en cours de nettoyage en juin dernier.

ANMAR A. FADHIL, UNIVERSITY OF BAGHDAD

Le texte cunéiforme faisant l'éloge de Babylone est présent sur 20 tablettes.

Un classique scolaire babylonien retrouvé

ARCHÉOLOGIE Un hymne en cunéiforme faisant l'éloge de la ville de Babylone et offrant de rares aperçus de la vie telle qu'elle s'y déroulait vient d'être déchiffré par deux assyriologues. Selon eux, ce texte présent dans pas moins de 20 manuscrits sur tablettes datés du VIIe au IIe siècle avant notre ère faisait sans doute partie intégrante des textes à apprendre par les jeunes élèves de l'époque. **M. B.**

SOURCE : ANMAR FADHIL, UNIVERSITÉ DE BAGDAD, IRAK.

Les plus vieilles roches terrestres authentifiées

GÉOLOGIE Les roches de la ceinture de Nuvvuagittuq, au Québec (Canada), sont les plus anciennes jamais identifiées sur Terre. Âgées de plus de 4,16 milliards d'années, elles ont été datées par une équipe franco-canadienne qui a examiné une intrusion magmatique et combiné analyses géochimiques, observations pétrologiques et deux méthodes indépendantes de datation isotopique. Elles sont les derniers témoins de l'hadéen, la période la plus ancienne de l'histoire de la Terre. **J. I.**

SOURCE : C. SOLE, UNIVERSITÉ D'OTTAWA, CANADA.

KBR, BRUXELLES

En marge des manuscrits, des annotations médicales circulaient de main en main.

Les remèdes de grand-mère du Moyen Âge

ARCHÉOLOGIE Lézard séché pour des cheveux souples, crâne de vautour, peau de loup, rose ou noyau de pêche contre les migraines… Une équipe internationale d'historiens a créé un catalogue recensant des textes médicaux « officieux » issus de près de 200 manuscrits médiévaux de la fin du Ve au IXe siècle. Des annotations souvent inscrites en marge de textes de théologie, de grammaire ou de mathématiques qui indiquent qu'un « savoir médical » circulait aussi en dehors des moines et érudits spécialisés en médecine. **A. N.**

SOURCE : CLAIRE BURRIDGE, UNIVERSITÉ D'OSLO, NORVÈGE.

Des résidus de miel de 2500 ans

PALÉOCHIMIE **Des chercheurs ont identifié du miel vieux de 2500 ans dans des jarres grecques découvertes dans un sanctuaire à Paestum (Italie). L'analyse moléculaire des résidus a révélé la présence de protéines de gelée royale et de produits de dégradation typiques du miel antique, une substance précieuse associée à la pureté, à la sagesse et à l'immortalité.** **J. I.**

SOURCE : LUCIANA DA COSTA CARVALHO, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

GEORGEA HOLANDA/MAMIRAUÁ INSTITUTE

Découvertes lors de la chute d'un arbre fin 2024, les sept urnes précolombiennes en céramique se trouvaient dans une île artificielle.

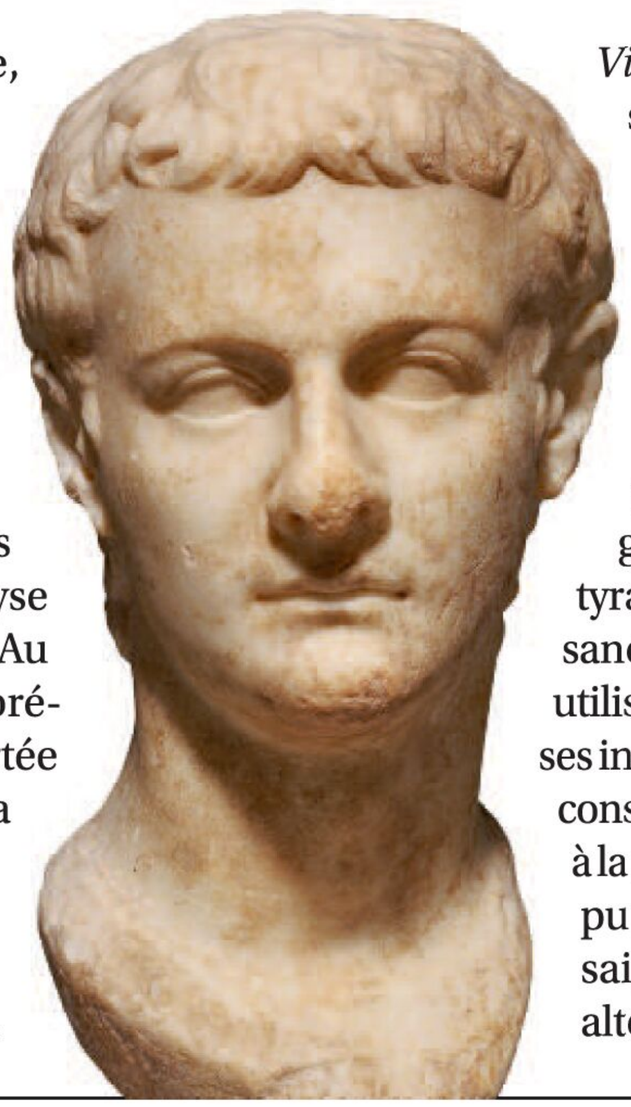
D'étranges urnes funéraires sphériques en Amazonie

ARCHÉOLOGIE Des habitants de l'État d'Amazonas, en pleine forêt amazonienne au Brésil, ont découvert sept urnes funéraires en céramique qui étaient enfouies sous les racines d'un arbre. Ils ont aidé les archéologues de l'institut Mamirauá à excaver ces structures imposantes — la plus grande pèse 350 kg. Des fragments d'ossements humains, de poissons et de tortues ont été retrouvés à l'intérieur, indiquant des pratiques funéraires associées à des rituels et à de la nourriture. **S. de L.**

Caligula, le tyran qui aimait les plantes

Une étude présente l'empereur romain, despote cruel et instable qui régna au Ier siècle de notre ère, sous un nouveau jour.

Sanguinaire et instable, l'empereur Caligula qui régna sur Rome de 37 à 41 de notre ère était aussi un fin connaisseur des plantes médicinales. C'est ce que révèle une étude du programme de pharmacologie ancienne de Yale (États-Unis), qui a compilé des données ethnobotaniques et une analyse poussée de textes de l'époque. Au point de proposer la réinterprétation d'une anecdote rapportée par l'historien Suétone dans sa *Vie des douze Césars*. Celle d'un sénateur romain malade, exécuté après une demande de prolongation de ses soins. « *Une saignée était nécessaire pour celui à qui l'hellébore n'avait pas profité depuis tout ce temps* », avait déclaré Caligula. En fait d'un cynisme sanguinaire, ce commentaire du tyran pourrait refléter sa connaissance pointue de cette plante qu'il utilisait pour traiter son épilepsie et ses insomnies. Selon les chercheurs, conscient du temps qu'il aurait fallu à la plante pour agir, Caligula aurait pu tout simplement évoquer des saignées comme un traitement alternatif. **M. B.**



HERITAGE IMAGES / AKG IMAGES

L'empereur avait une connaissance pointue de la botanique.

Une comète à l'origine d'un brusque refroidissement

PALÉOCLIMATOLOGIE **Une équipe internationale a identifié dans les sédiments marins de la baie de Baffin, en Arctique, des signatures géochimiques compatibles avec un impact de comète survenu il y a 12 800 ans. Cette date correspond précisément au début du dryas récent, une période de refroidissement sévère, avec une baisse de température estimée à 10 °C en moins d'un an, qui a duré près de 1200 ans et interrompu brutalement la déglaciation post-ère glaciaire.** **J. I.**

SOURCE : CHRISTOPHER MOORE, UNIVERSITÉ DE CAROLINE DU SUD, ÉTATS-UNIS.

SCIENCES ET AVENIR & La Recherche

présentent

LE FESTIVAL

GRAND OCEAN

4ème ÉDITION

DÉCOUVRIR ET COMPRENDRE **L'EXTRAORDINAIRE RICHESSE DES ABYSSES**

26 - 27 SEPT. 2025
LA CITÉ DE LA MER
CHERBOURG-EN-COTENTIN

24 - 27 SEPT. 2025
EN PLEIN AIR
SAINT-VAAST-LA-HOUGUE

- ET EN DIGITAL -

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, DE LA BIODIVERSITÉ, DE LA FORÊT, DE LA MER ET DE LA PÊCHE
Liberté Égalité Fraternité

LA MER EN COMMUN — ANNÉE DE LA MER

Conférences et débats portés par les plus grands spécialistes, animations...
Nous accueillons petits et grands pour une plongée unique au cœur des océans.

www.grandocean-event.com

Grand Océan s'inscrit dans le cadre de la Conférence Océan des Nations-Unies (Nice 2025).

Photo : © P.G - stock.adobe.com - Conception : **MEDIAOBS** LE STUDIO

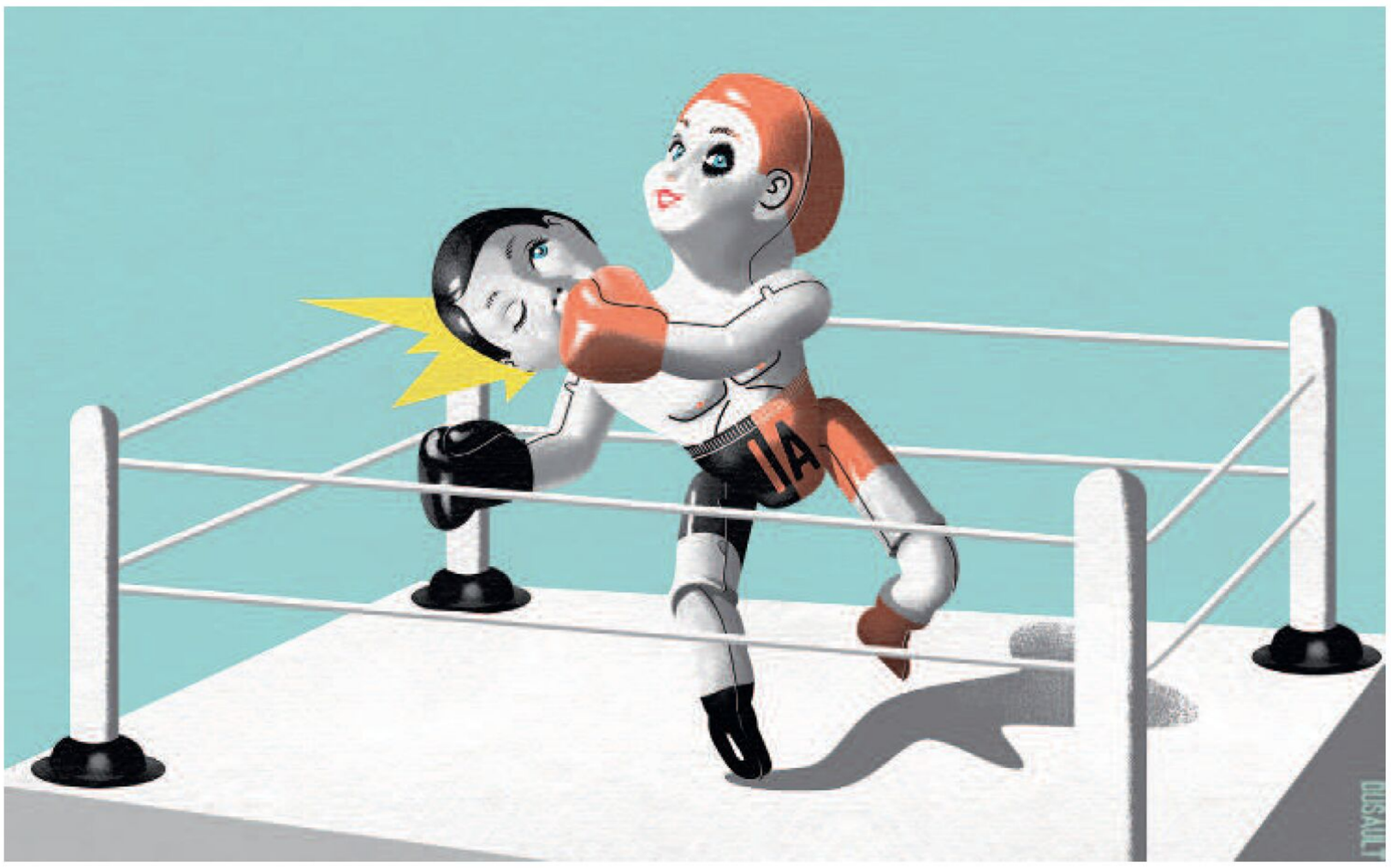
Partenaires officiels

Partenaires associés

Partenaires

Partenaires médias

Organisé par



ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

L'effondrement pas si inéluctable des IA

À force de générer des contenus qui eux-mêmes servent à les entraîner, les technologies actuelles seraient vouées à fournir des résultats de plus en plus dégradés. La réalité est plus nuancée.

Et si, malgré leurs performances époustouflantes, les intelligences artificielles (IA) génératives actuelles étaient vouées à décliner ? En 2024, dans *Nature*, des chercheurs des universités de Cambridge et Oxford (Royaume-Uni) avançaient la notion d'*« effondrement des modèles »*. À partir de tests menés avec GPT, ils montraient qu'un *« usage systématique de contenus générés dans l'apprentissage provoque des défaillances irréversibles dans les résultats des modèles de langage »*. En lui-même, le sujet remonte aux modèles de génération d'images à partir d'instruction en langage naturel, tels Dall-E, Midjourney ou Stable Diffusion. *« La question ne s'était pas posée avant l'apparition de ces outils, entre 2021 et 2022, car les IA génératives existantes n'étaient pas si performantes »*, précise Quentin Bertrand, chargé de recherche à l'Inria de Lyon et au laboratoire Hubert-Curien. Dans un article cosigné avec Gauthier Gidel, professeur à l'université de Montréal (Canada), il relativise ce scénario catastrophe. En testant trois modèles de génération d'images, les deux chercheurs ont établi qu'il était possible de les réentraîner sur leurs propres données générées sans dégradation significative des résultats, pour peu que l'on conserve une fraction limite de données réelles dans l'apprentissage. *« Plus les données de synthèse sont de bonne qualité, moins on a besoin de données réelles,* ajoute Quentin Bertrand. *Mais il faut aussi tenir compte de la qualité du modèle lui-même : si le modèle d'IA est bien conçu, on peut réduire le recours aux données réelles. »*

8
définitions différentes
de la notion d'effondrement des modèles d'IA ont été identifiées par une méta-étude américaine.

L'IA propose une règle de détection à l'analyste

En mars, une méta-étude de chercheurs des universités Stanford et Harvard (États-Unis) tempérait à son tour cette notion d'effondrement. Selon les auteurs, la littérature scientifique, les commentaires d'experts ou la vulgarisation scientifique auraient surtout fait œuvre de mauvaises interprétations et de simplifications. Ils ont aussi noté que, selon les sources, la supposée dégradation des performances des IA ne recouvre pas la même chose. Ils en ont même identifié huit définitions différentes, dont certaines seraient trop vagues. Ils récusent tout fatalisme, estimant que certains phénomènes pointés du doigt, effectivement dus à l'usage de données synthétiques, seraient en fait évitables.
Pour Gauthier Gidel, la vraie question est celle de la diversité des contenus. *« Les éléments les moins probables figurant dans le corpus d'entraînement sont les moins souvent générés ; en particulier, ils pourraient être sous-représentés dans les contenus qui serviront à entraîner la nouvelle génération de modèles, ce qui contribuerait à leur lent oubli. C'est un cercle vicieux : une fois oublié, un type de contenu ne peut être réappris. »* L'enjeu à venir sera de montrer qu'il est possible de garder la diversité des données avec des contenus synthétiques. ■

Arnaud Devillard

Un moteur interne de réponse par IA

OUTIL Le spécialiste de la publicité en ligne Taboola propose aux éditeurs de sites Web d'intégrer un moteur de recherche par IA générative qui leur soit propre, DeeperDive. Les lecteurs l'interrogent et obtiennent des réponses établies à partir des contenus du site et, pour aller plus loin, sont redirigés vers d'autres articles de l'éditeur. **A. D.**

IL A DIT

« Interagir [avec un chatbot] n'est pas indiqué pour des personnes souffrant de psychoses. Cela risque de les enfoncer dans leurs délires. C'est dangereux »

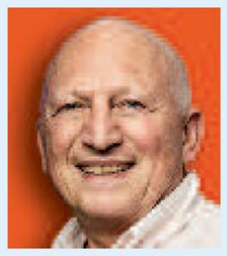
Ragy Girgis, professeur de psychiatrie clinique à l'université Columbia (États-Unis), s'exprimant dans *Futurism*.

CHÂTEAU DE VERSAILLES/ASK MONA

L'expérience permet aux visiteurs de « discuter » en temps réel avec 20 œuvres dans le jardin du château.

Dialoguer avec les statues de Versailles

PATRIMOINE Une interface conçue par la société française d'IA Ask Mona et Open AI permet aux visiteurs de dialoguer vocalement, en langage naturel, avec 20 statues et fontaines des jardins du château. Les interactions livrent des anecdotes et faits historiques. Il faut scanner un QR code sur place ou aller directement sur l'application du château pour y accéder. **A. D.**



BRUNO LÉVY

LA CHRONIQUE DE
JEAN-GABRIEL GANASCIA*

Hallucinations, impropriétés et alucites

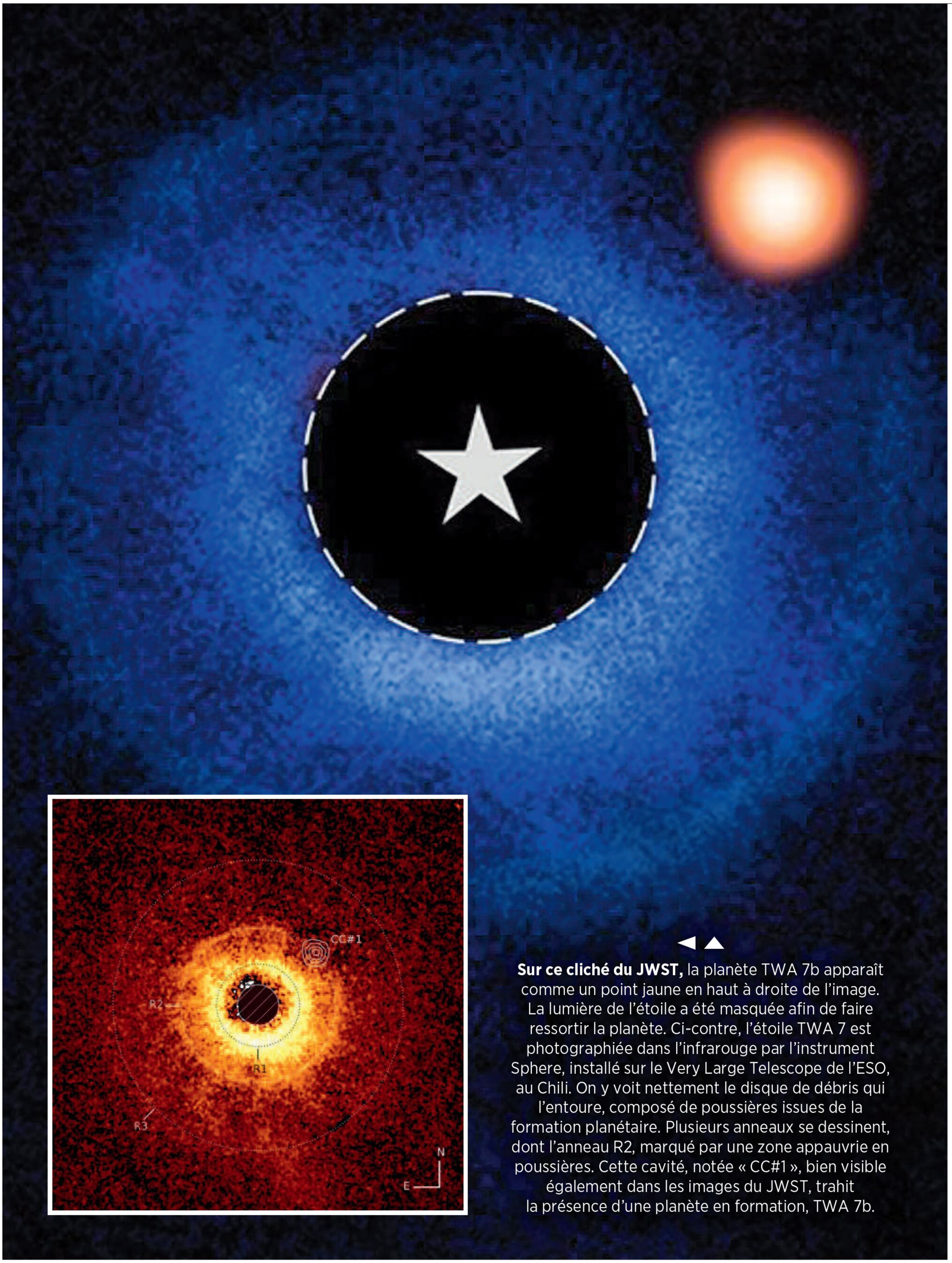
Depuis bientôt trois ans que chatGPT existe et qu'il parle, le mot hallucination a pris un sens neuf. Auparavant, et en référence au latin *alucinari* qui veut dire « errer dans son esprit », « rêver », il désignait les perceptions fausses auxquelles ne correspond rien de tangible. Désormais, il renvoie aussi aux impropriétés des réponses qu'apportent les générateurs de textes à nos requêtes, à leurs impertinences et à leurs faussetés.

Cette dernière acception a une histoire qui mérite d'être évoquée. À l'aube du millénaire, des informaticiens usèrent de ce terme avec une connotation positive pour décrire des images de synthèse intrigantes, par exemple des visages jugés vraisemblables, quoique chimériques parce qu'intégralement fabriqués. Avec le temps, et toujours dans la communauté de la vision sur ordinateur, il désigna des erreurs d'étiquetage, comme celles qui conduisent à légender le livre qu'un homme déambulant sur une plage porte sous le bras « planche de surf » ou « montre ». Ensuite, après l'avènement des LLM (grands modèles de langage), il en est venu à qualifier ce qui se révèle faux ou trompeur dans les textes produits.

Or, ce dernier sens fourvoie, car il suggère que les chatbots et autres agents programmés avec des techniques d'IA disposeraient d'un esprit doué de facultés imaginatives et qu'ils se forgeraient leurs propres représentations. À l'évidence, il n'en est rien. Ce ne sont là que machines erratiques qui répondent à nos sollicitations en commettant bien des fautes.

L'étymon latin *alucinari* a aussi donné naissance aux alucites, ces petits papillons nocturnes qui se brûlent à force de virevolter autour du feu des lampes… Souvenons-nous-en et prenons garde à ne pas nous brûler, comme elles, au feu des hallucinations. ■

* **Professeur à Sorbonne Université,** à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *L'I.A. expliquée aux humains*, Seuil, 2024.



NASA, ESA, CSA, ANNE-MARIE LAGRANGE (CNRS, UGA), MAHDI ZAMANI (ESA/WEBB) - A.-M. LAGRANGE ET AL. / ESO / JWST

Sur ce cliché du JWST, la planète TWA 7b apparaît comme un point jaune en haut à droite de l'image. La lumière de l'étoile a été masquée afin de faire ressortir la planète. Ci-contre, l'étoile TWA 7 est photographiée dans l'infrarouge par l'instrument Sphere, installé sur le Very Large Telescope de l'ESO, au Chili. On y voit nettement le disque de débris qui l'entoure, composé de poussières issues de la formation planétaire. Plusieurs anneaux se dessinent, dont l'anneau R2, marqué par une zone appauvrie en poussières. Cette cavité, notée « CC#1 », bien visible également dans les images du JWST, trahit la présence d'une planète en formation, TWA 7b.

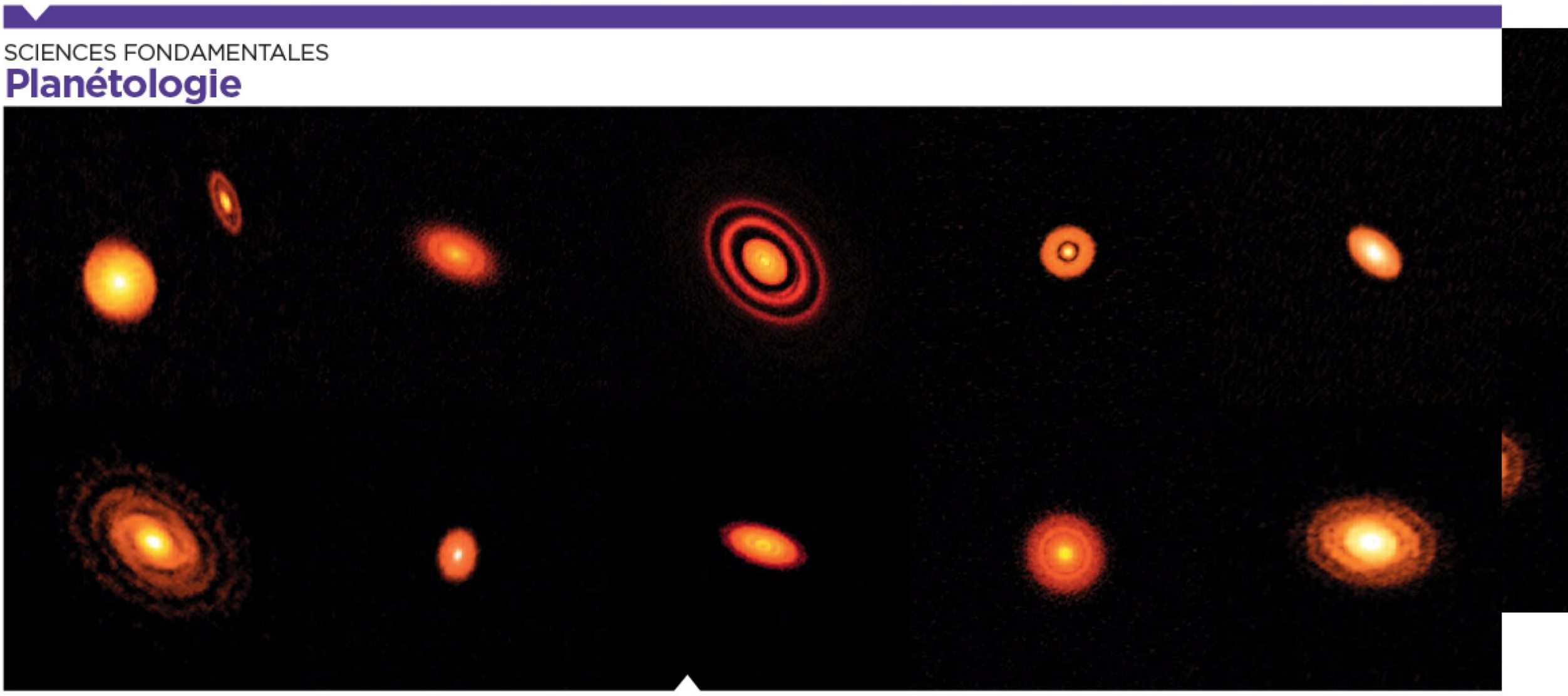
On a vu naître une planète

Le télescope spatial James-Webb est parvenu à voir directement une planète de la masse de Saturne, qui émerge tout juste autour de son étoile. L'avènement d'instruments de plus en plus précis, dans l'espace comme au sol, permet de multiplier les observations de systèmes solaires en formation, livrant de précieux indices sur les débuts du nôtre.

Par Fabrice Nicot

Cet infime éclat de lumière infrarouge, perdu dans le disque de poussières d'une étoile en devenir, est un nouveau monde. Au sens propre. « TWA 7b », planète tout juste formée, a été repérée par le télescope spatial James-Webb (JWST) autour de l'étoile TWA 7, à 110 années-lumière de nous. Âgée de 6,4 millions d'années seulement, la planète émerge à peine du maelström de gaz et de poussières qui l'a forgée. Elle est encore tiède — environ 50 °C —, ce qui la fait briller dans l'infrarouge moyen, la gamme de longueurs d'onde explorée par la caméra Miri qui équipe le télescope. Il aura fallu de longs mois d'analyse d'images avant de parvenir à ce cliché qui a fait l'objet d'une publication dans la revue *Nature* en juin.

TWA 7b est à peu près aussi massive que Saturne, soit 30 % de la masse de Jupiter. Elle appartient donc à la catégorie des géantes gazeuses — mais pas si géante que cela : bien des exoplanètes connues la dépassent largement en masse. Elle gravite à 7,7 milliards de kilomètres de son étoile, soit plus loin que Pluton ne l'est du Soleil. Sa découverte est une heureuse surprise, mais qui ne doit rien à la chance. La cible avait été soigneusement sélectionnée, comme le révèle Anne-Marie Lagrange, astrophysicienne au CNRS et première auteure de l'étude. *« On ne part pas à la pêche aux planètes en formation au hasard. On a ciblé des systèmes jeunes, avec des disques de poussières qui montraient des indices de planètes, notamment des "gaps", ces sillons qui suggèrent qu'un objet massif a creusé la matière sur son orbite »*. L'étoile TWA 7 cochait toutes les cases : sys-



Le programme DSHARP du radiotélescope Alma a livré des images haute résolution de 20 disques protoplanétaires, permettant d'en savoir plus sur l'émergence des planètes.

tème jeune, disque vu presque de face, et surtout, une étrange structure en forme d'anneau très fin. TWA 7b était bien au rendez-vous, au cœur de cet anneau. Quelques planètes auraient déjà été observées à un stade plus précoce de leur formation, dans des disques protoplanétaires. Toutefois, ces observations sont encore discutées, et l'on ne peut pas parler de planètes vraiment achevées comme TWA 7b. Les disques protoplanétaires entourent l'étoile juste après sa naissance et contiennent encore le gaz primordial issu de sa formation. À l'intérieur, les planètes continuent d'accréter de la matière. Puis ce disque protoplanétaire évolue vers un disque de débris, après dissipation du gaz. Il ne contient plus que les poussières produites par les collisions entre petits corps — signe que les planètes sont déjà en place ou en voie de l'être. *« TWA 7b se trouve dans un disque de transition, entre protoplanétaire et débris,* précise Anne-Marie Lagrange. *C'est en tous les cas la première planète de cette masse détectée si jeune dans un tel environnement, déjà nettoyé de son gaz. »*

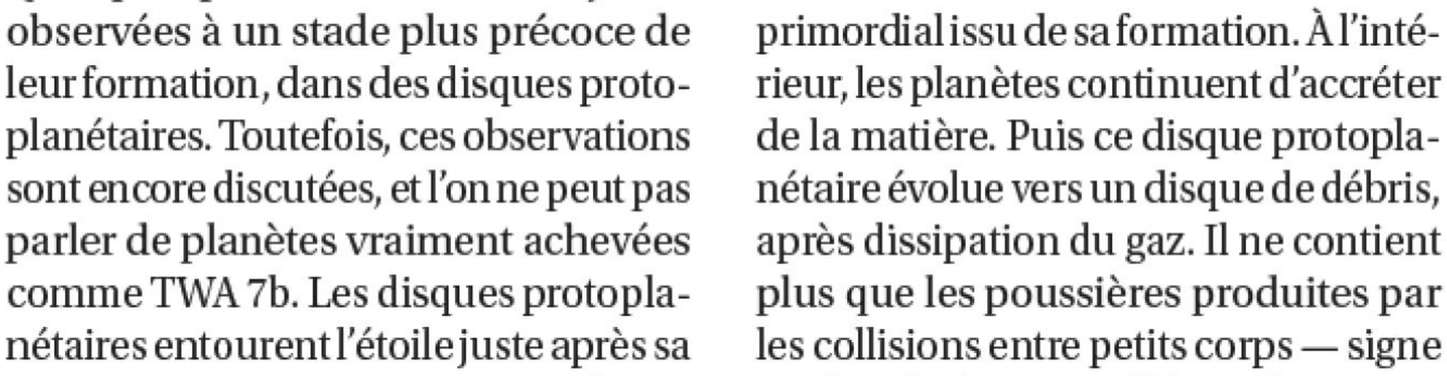
Une nouvelle classe de planètes désormais accessible

« TWA 7b est beaucoup moins massive, et plus froide que toutes les jeunes planètes observées directement jusqu'ici [la plupart des exoplanètes sont détectées de manière indirecte, par leur action sur leur étoile] », note de son côté Anthony Boccaletti, directeur de recherche au CNRS et coauteur de l'étude sur TWA 7b. « Froide » étant un terme relatif : ses 50 °C sont énormes en comparaison des -173 °C de Jupiter, par exemple. Lors de leur formation, les planètes commencent par attirer une grande quantité de gaz qui, en se contractant, libère une énergie intense sous forme de chaleur, avant de lentement se refroidir. Plus une planète est massive, plus elle est chaude.

Jusque-là, les planètes jeunes dont on a obtenu une image étaient surtout très massives — plusieurs fois la masse de Jupiter — et donc incandescentes, culminant à plus de 1400 °C pour Bêta Pictoris b, par exemple. Les astronomes n'ont de cesse d'en trouver de plus froides, ce qui signifie que leur

MÉCANISME

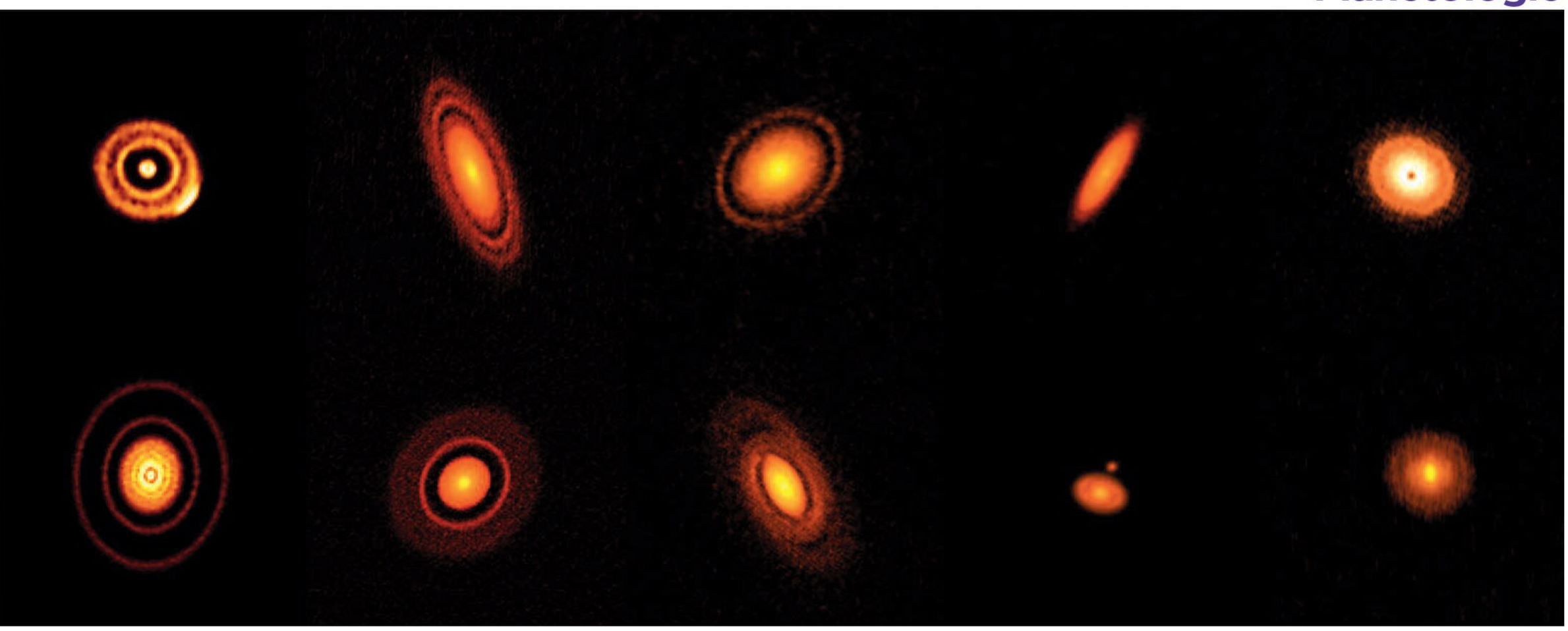
Deux scénarios de formation



B. BOURGEOIS ;SOURCE : NATURE642 A.-M LAGRANGE

ACCRÉTION SUR NOYAU
Le noyau se forme dans le disque protoplanétaire par collisions successives. Des poussières s'agrègent sous l'effet de la gravité, donnant naissance à des objets de plus en plus gros jusqu'à former une protoplanète.

INSTABILITÉ GRAVITATIONNELLE
Les planétésimaux se forment directement par effondrement gravitationnel de fractions du disque. Des grumeaux solides apparaissent ainsi, puis grossissent en protoplanètes.



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. ANDREWS ET AL.; NRAO/AUI/NSF, S. DAGNELLO

processus de formation est terminé ou presque, ou qu'elles sont plus légères. Ou les deux dans le cas de TWA 7b.
Mais pour distinguer la planète, encore fallait-il masquer l'éblouissante lumière de l'étoile. C'est là qu'intervient le coronographe, un masque optique qui bloque précisément le rayonnement stellaire. Celui utilisé ici, dit de phase à quatre quadrants, a été conçu en France pour l'instrument Miri, et permet de s'approcher plus près de l'étoile que les coronographes classiques. Grâce à cet outil et à la sensibilité de Miri, les chercheurs ont donc désormais accès à un type de planètes jusqu'ici inaccessible en observation directe : celui des planètes géantes jeunes, peu lumineuses, à grande distance de leur étoile comme TWA 7b.
En plus d'ouvrir la voie à cette nouvelle classe de planètes, ces travaux illustrent pour la première fois les interactions entre le disque de débris et une planète. *« On savait que des planètes pouvaient creuser les disques, mais on n'en avait jamais surpris une sur le fait. C'est une confirmation majeure »*, estime Anne-Marie Lagrange. Depuis près de vingt ans, les astronomes observent dans les disques de poussières de jeunes étoiles ces fameuses lacunes — les gaps — sans pouvoir les relier formellement à une planète. Trop peu massives, trop éloignées de leur étoile, les candidates restaient invisibles. Cette fois, les scientifiques ont bien la preuve que la planète à peine formée « nettoie » son orbite. Mais pas comme on pourrait l'imaginer…
« Ce n'est pas la planète qui balaie la poussière en avançant comme un chasse-neige, précise Éric Pantin, astrophysicien au CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). *Dans un disque protoplanétaire, le gaz et les poussières tournent presque à la même vitesse que la planète. Elle n'attrape donc rien.* » Concrètement, du fait de leur interaction gravitationnelle avec la planète, les poussières situées à l'intérieur de l'orbite de la planète gagnent de la vitesse et migrent vers l'étoile, tandis que celles situées plus loin sont ralenties et repoussées vers l'extérieur. Ce double mouvement vide progressivement la zone autour de la planète, jusqu'à former un véritable fossé de matière — le fameux gap. Seules les poussières en résonance parfaite avec la planète — partageant la même période orbitale — restent piégées sur l'orbite. Elles forment un anneau étroit, observable sur l'image de TWA 7b comme un délicat trait de matière au milieu du vide du gap.

ESO

L'ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO, en construction au Chili, observera des planètes jusqu'à six fois plus proches de leur étoile (vue d'artiste).

Des indices supplémentaires pour départager les modèles

Reste une question de taille : comment une planète de la masse de Saturne a-t-elle pu émerger si loin de son étoile, en moins de dix millions d'années ? Deux grands scénarios sont aujourd'hui en lice. Le premier, dit accrétion sur noyau, suppose qu'un cœur rocheux se forme lentement à partir des petits corps présents dans le disque, jusqu'à atteindre une masse suffisante, environ 10 masses terrestres, pour attirer du gaz. Le second, appelé « instabilité gravitationnelle », postule au contraire un effondrement rapide d'une fraction du disque, qui formerait directement une planète sans passer par un noyau solide *(voir l'infographie ci-contre)*.
Mais même avec ces modèles en main, il est difficile de trancher dans le cas de TWA 7b. *« Nous ne sommes déjà pas d'accord pour les géantes du Système solaire,* s'amuse Anthony Boccaletti.

Même si l'on penche tout de même pour le scénario "accrétion sur noyau"… Pour TWA 7b, nous avons une planète peu massive en comparaison d'une Jupiter, en orbite autour d'une étoile peu massive, et qui échange de la matière depuis longtemps avec le disque. Autant d'indices qui font penser, sans être catégorique, à l'accrétion sur noyau, car l'instabilité gravitationnelle forme plutôt de très grosses planètes, très rapidement. » Éric Pantin, lui, remarque qu'à une distance aussi grande de son étoile, *« les temps de formation deviennent très longs dans le cas d'un scénario "accrétion sur noyau", même si le matériau est là »*. Dans ce contexte, un scénario par effondrement gravitationnel rapide du gaz du disque lui semble plausible. Pour départager ces scénarios, il faudra d'autres indices. *« On a besoin de connaître plus finement la température de TWA 7b qui n'est qu'une estimation jusqu'ici,* note Éric Pantin. *La température initiale d'une planète formée par accrétion sur cœur est plus basse que celle d'une planète formée par instabilité gravitationnelle »*.

L'équipe espère ainsi obtenir un spectre de la planète grâce à de futures observations du JWST. Elle pourrait révéler, en plus de la température exacte, la composition de son atmosphère. Autant d'indices clés pour affiner l'estimation de sa masse et trancher entre différents scénarios de formation.

Identifier les espèces chimiques présentes dans l'atmosphère

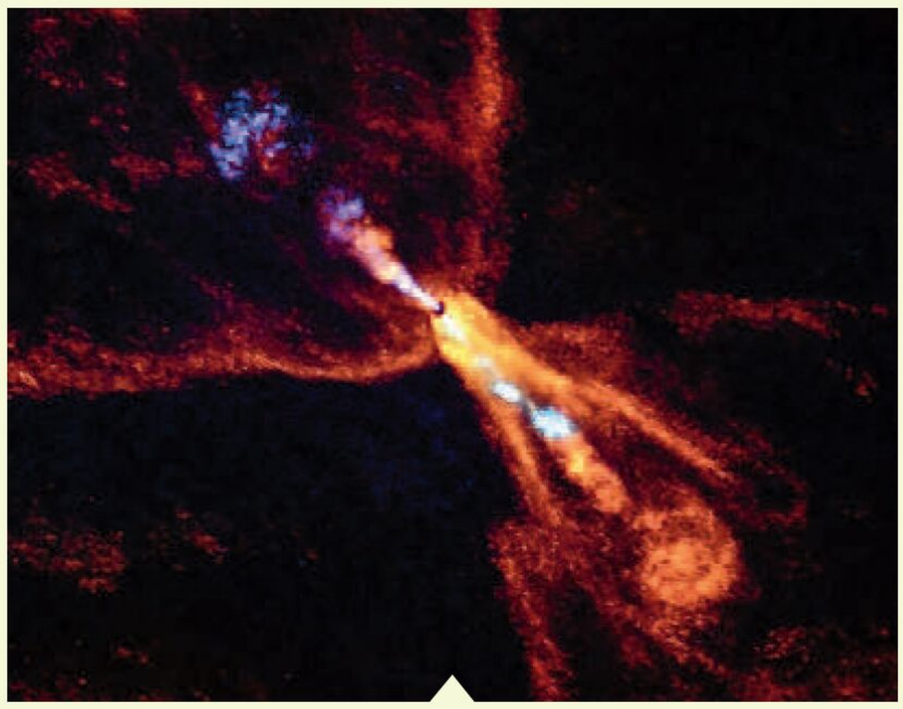
Dans le domaine de la naissance des planètes, le JWST a ouvert un chemin que le futur Extremely Large Telescope (ELT), en construction dans le désert d'Atacama (Chili), devrait élargir. Avec son miroir géant de 39 mètres — contre 6,5 mètres pour le télescope spatial —, l'ELT observera des planètes jusqu'à six fois plus proches de leur étoile. Il sera ainsi capable de voir directement des planètes de type Terre autour d'étoiles proches, comme Alpha du Centaure — un territoire inaccessible au JWST. Il offrira aussi une spectroscopie d'une résolution 100 fois supérieure à celle du JWST, grâce à l'instrument Metis, auquel participe Éric Pantin. *« Nous identifierons plus précisément les espèces chimiques présentes dans l'atmosphère.* » Sa mise en service est prévue vers 2030.

D'ici là, le JWST continuera ses observations. D'autres « bébés » planètes viendront nourrir l'album de famille, nous rapprochant toujours plus de nos propres origines. L'astronomie entre ainsi dans une ère où la formation planétaire ne se devine plus seulement à partir de modèles numériques. Elle s'observe en direct. ■

DÉCOUVERTE

Détecter l'émergence de la matière première des planètes

Pour que des protoplanètes se forment, encore faut-il disposer des grains de matière élémentaires qui vont s'agréger petit à petit. Grâce au JWST et au radiotélescope Alma au Chili, une équipe d'astronomes dirigée par Melissa McClure, de l'université de Leiden (Pays-Bas), a observé la formation de ces tout premiers grains solides dans le disque protoplanétaire entourant une étoile à peine née, HOPS-315, âgée de 135 000 ans. Cette découverte a été publiée dans *Nature* en juillet. Le système se trouve à environ 1370 années-lumière, dans la nébuleuse d'Orion. Près de l'étoile, à moins de 2,2 unités astronomiques, la température atteint environ 1000 °C : les poussières interstellaires, faites de silicates et d'autres minéraux, sont vaporisées par la chaleur. En migrant vers les régions plus froides du disque, le gaz se condense à nouveau et reforme des grains solides. Le JWST a capté les acteurs et témoins de cette transition inédite : à la fois du monoxyde de silicium gazeux (SiO), et des cristaux de forstérite (Mg_2SiO_4) et d'enstatite ($MgSiO_3$). C'est très probablement le même processus qui a eu lieu dans le Système solaire primitif, il y a 4,56 milliards d'années. Dans certaines météorites, les chercheurs retrouvent encore aujourd'hui des inclusions riches en calcium et aluminium, issues d'un mécanisme de formation identique. Ce sont les plus anciens solides connus du Système solaire, et les tout premiers jalons vers la naissance de notre planète.



ALMA(ESO/NAOJ/NRAOYM./MCCLURE ET AL

Des minéraux se condensent autour de l'étoile naissante HOPS-315, au centre de l'image. Ils sont les briques élémentaires des futures planètes.

HEMERIA

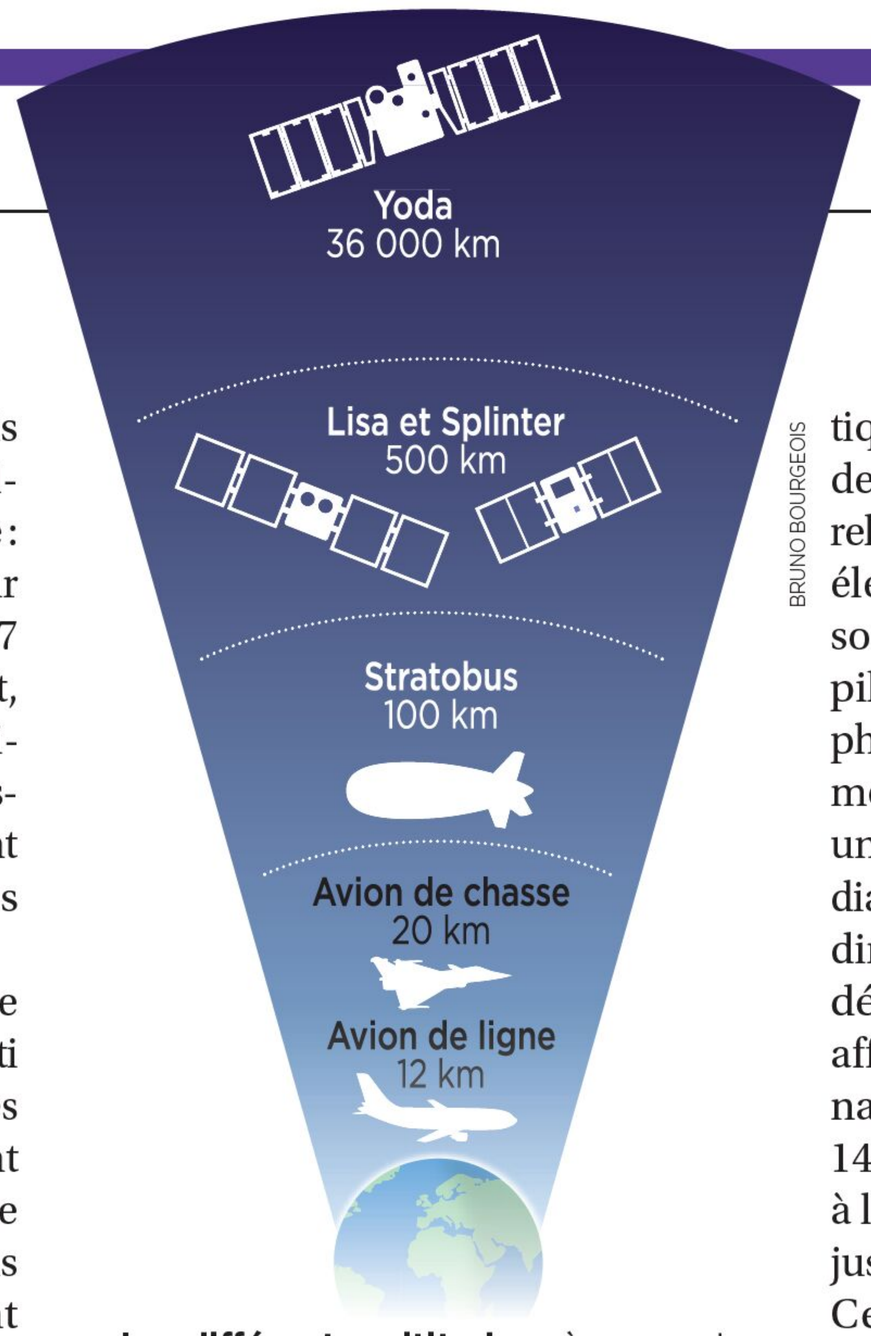
Le ballon Balman peut demeurer plusieurs mois dans la stratosphère (12 à 50 km d'altitude) avec une charge utile de 15 à 20 kg.

L'ère de la guerre subspatiale a commencé

La très haute altitude — de 20 à 100 kilomètres — est un espace aérien hybride très vulnérable car peu surveillé et non régi par le droit international. La France développe un arsenal adapté à cet environnement extrême.

« *Des Rafale et Mirage 2000 ont réalisé avec succès les premiers tirs de missiles Mica vers des ballons stratosphériques fournis par le Cnes* [Centre national d'études spatiales], a indiqué Sébastien Lecornu, ministre des Armées, le 23 juin sur le réseau social X. *Des tirs d'essai repoussant les contraintes technologiques qui s'exercent sur l'avion, son pilote et son armement au-delà de 20 km d'altitude. Première étape franchie sur le volet interception de la stratégie de nos armées pour la très haute altitude, qui devient un espace de conflictualité.* » Une semaine auparavant, à l'occasion du salon du Bourget, le ministre avait en effet détaillé cette stratégie, articulée autour de trois axes: détecter, intercepter et opérer.

Ni tout à fait aérienne, ni vraiment spatiale, la zone dite de très haute altitude (THA) commence au-dessus de 20 km — bien au-delà de l'altitude maximale des avions commerciaux qui évoluent généralement entre 12 000 et 13 000 m —, certains avions de chasse pouvant atteindre 26 km. Cette zone s'étend jusqu'aux frontières de l'espace, à 100 km. L'intérêt pour la THA a été renforcé lorsqu'en février 2023, un ballon chinois a été détecté survolant l'espace aérien nord-américain sur près de 3000 km. Il a traversé l'Alaska, le Canada, puis plusieurs États américains, dont le Montana, où se trouvent des installations nucléaires sensibles, avant d'être abattu par un chasseur F-22 à 18 km d'altitude.



BRUNO BOURGEOIS

Les différentes altitudes où peuvent intervenir les dispositifs de défense.

La communauté internationale a pris conscience à cette occasion de la vulnérabilité de cet espace aérien hybride : la convention de Chicago de 1944, pour l'aviation, et le traité de l'espace de 1967 ne définissent pas précisément, en effet, où commence et où s'arrête la souveraineté d'un État dans la verticale atmosphérique. La très haute altitude devient ainsi un nouveau far west où tous les coups sont encore permis !

Des aéronefs d'un nouveau genre se développent aujourd'hui pour tirer parti des avantages de cet environnement : les ballons stratosphériques, qui profitent de vents favorables leur permettant de circuler autour de la Terre ; les avions légers à énergie solaire, qui peuvent survoler une même zone pendant un an, notamment pour des missions de renseignement ; ou les armes hypersoniques capables de déjouer les systèmes de défense, à l'instar des frappes de missiles Kinjal russes en Ukraine dès 2022.

La nouvelle stratégie française se structure donc autour de trois volets complémentaires : la détection, l'interception et l'opération. Le premier volet repose notamment sur le radar Nostradamus de l'Onera (Office national d'études et de recherches aérospatiales), capable de « voir » au-delà de la ligne d'horizon. Ses puissantes antennes situées près de Dreux (Eure-et-Loir) émettent des trains d'ondes qui se réfléchissent sur l'ionosphère, la haute couche de l'atmosphère où les gaz sont ionisés par les UV solaires. Les réflexions des ondes radio sur cette couche de particules chargées permettent de détecter des objets évoluant à plusieurs milliers de kilomètres, des ballons aux missiles hypersoniques. Le système sera bientôt renforcé par de nouvelles antennes à Châteauroux (Indre).

Le deuxième volet, « interception », concrétisé fin juin par le tir de missiles des chasseurs Rafale et Mirage 2000, pourrait en outre s'appuyer à l'avenir sur l'usage de lasers. Enfin, la France développe plusieurs plateformes stratosphériques dont la capacité à rester longuement au-dessus de zones critiques est essentielle pour des missions de renseignement, de surveillance, de relais des communications ou de guerre électronique. Le ballon Balman, de la société Hemeria, est ainsi capable de piloter sa trajectoire dans la stratosphère et de survoler pendant plusieurs mois une zone d'intérêt en emportant une charge utile de 15 à 20 kg pour un diamètre de 20 m. Stratobus, le projet de dirigeable stratosphérique autonome développé par Thales Alenia Space, affiche des dimensions impressionnantes, avec une longueur d'environ 140 m pour 32 m de diamètre gonflés à l'hélium, lui permettant d'emporter jusqu'à 250 kg d'instruments.

Ces derniers, ainsi que ses quatre moteurs électriques, sont alimentés par plus de 1000 m^2 de panneaux solaires souples lui permettant de rester stationnaire jusqu'à un an. Les premiers vols d'essai sont prévus à partir de 2026, pour une éventuelle mise en service à l'horizon 2030.

Les manœuvres militaires se multiplient dans l'espace

De son côté, Airbus Defence and Space prévoit une entrée en service en 2026 du Zephyr, un drone à énergie solaire d'environ 75 kg pour une envergure de 25 m. Ses ailes recouvertes de panneaux solaires lui ont permis de voler continûment pendant 64 jours en 2022, lors d'un vol d'essai qui s'est fini par un crash dans le désert de l'Arizona (États-Unis). Ces plateformes pourraient aussi permettre de repérer des armes hypervéloces tels les missiles et planeurs hypersoniques qui investissent de plus en plus les couches les plus hautes de l'atmosphère.

Les manœuvres militaires se multiplient également au-dessus de l'atmosphère, c'est-à-dire au-delà de 100 km, sur différentes orbites. Le 5 février 2022, soit quelques semaines avant l'invasion de l'Ukraine, la Russie a mis en orbite le satellite Kosmos 2553, que les autorités américaines soupçonnent d'appartenir au programme d'armes nucléaires antisatellites russe. Une telle arme spa-

PROJET

Vortex, le futur de l'avion spatial

Confronté à la multiplication de vols tests d'avions spatiaux automatiques chinois, russes et américains — tels les X-37B américains ou les Shenlong chinois —, le ministre des Armées Sébastien Lecornu a décidé, lors du dernier salon du Bourget, de lancer le développement d'un démonstrateur d'avion spatial polyvalent proposé par Dassault Aviation. Baptisé Vortex (pour « véhicule orbital réutilisable de transport et d'exploration »), il doit répondre aux besoins de manœuvre orbitale des armées et des acteurs civils. Ce futur avion spatial bénéficiera de l'expérience acquise par le passé, notamment avec les travaux sur l'IXV, un véhicule expérimental destiné à maîtriser les technologies de guidage et les phases de rentrée atmosphérique à vitesse hypersonique, qui avait réalisé un vol d'essai en 2015. Un premier vol de démonstrateur de Vortex est prévu en 2028.

THALES ALENIA SPACE

Stratobus, un dirigeable stratosphérique autonome de 140 m de long, doté de 1000 m² de panneaux solaires et pouvant emporter 250 kg d'instruments, sera opérationnel vers 2030.

AIRBUS

Le Zephyr, le drone d'Airbus d'une envergure de 25 m, dont les ailes sont recouvertes de panneaux solaires, peut voler à 21 km d'altitude. Il sera mis en service en 2026.

tiale permettrait de détruire par explosion des centaines de satellites en orbite basse, notamment des constellations de satellites de télécommunication ou d'accès à Internet tels que Starlink de SpaceX, utilisé par les troupes ukrainiennes. Il semble cependant que l'engin montre aujourd'hui un comportement erratique et soit hors de contrôle.

Depuis quelques années, la Russie redouble de manœuvres « menaçantes » dans l'espace. En 2017, le satellite russe Luch-Olymp 1 avait tenté de s'approcher du satellite franco-italien de communications militaires sécurisées Athena-Fidus. L'incident fut révélé quelques mois plus tard lorsque Florence Parly, alors ministre des Armées, le qualifia d'*« acte d'espionnage »*, et mena à la création d'un Commandement de l'espace (CDE) en 2019. La même année, c'est le satellite russe Kosmos 2542 qui fut observé en train de se rapprocher d'un satellite américain USA 245, chargé du renseignement pour le Pentagone. Et en 2023, un nouveau « satellite butineur », Luch Olymp 2, a fait parler de lui en approchant diverses cibles, des manœuvres repérées par la start-up française Look Up Space, cofondée par le général Michel Friedling.

« Dans l'espace, tout acte contre un satellite serait considéré comme un acte de guerre, expliquait lors du salon du Bourget Joël Angles, conseiller technique de la défense au ministère des Armées à Toulouse. *Nous savons qu'il y a en orbite des engins dotés de moyens agressifs comme l'énergie dirigée, qui permettrait d'aveugler d'autres satellites ou de modifier leur orbite. Nous devons à notre tour montrer ce que l'on sait faire en orbite en vue de protéger nos satellites. C'est l'objectif du programme de défense spatiale Toutatis. »*

> **« Dans l'espace, tout acte contre un satellite serait considéré comme un acte de guerre »**
> **Joël Angles,** conseiller technique de la défense au ministère des Armées à Toulouse

Un dispositif pour neutraliser des satellites sans les détruire

Ce programme Toutatis (pour « test en orbite d'utilisation de techniques d'action contre les tentatives d'ingérences spatiales ») consiste à lancer les nanosatellites Lisa 1 et Splinter en orbite basse dès 2025 ou 2026. Le premier est un satellite guetteur, conçu pour surveiller l'environnement orbital et y détecter des comportements suspects ou hostiles de la part de satellites étrangers. Splinter est le bras armé du programme. Équipé d'un système laser, il peut neutraliser temporairement les capteurs optiques d'un satellite adverse, sans le détruire. Cette capacité dite réversible permet d'éviter la génération de débris, tout en envoyant un message clair de dissuasion.

Splinter doit également démontrer une capacité de manœuvre élevée qui lui permettra d'approcher des cibles, en l'occurrence Lisa 1. Le dispositif sera complété, en 2026 ou 2027, par le démonstrateur Yoda conçu pour « patrouiller » en orbite géostationnaire, à 36 000 km d'altitude, afin d'y détecter toute manœuvre indélicate. L'idée est de disposer d'ici à la fin de la décennie de satellites opérationnels, capables de faire de la reconnaissance et du renseignement, voire de mener des actions de légitime défense. ■

Sylvie Rouat

Le mécanisme à l'origine des éclairs dévoilé

Des électrons issus des rayons cosmiques participent au déclenchement de la foudre, même lorsque le champ électrique est trop faible pour provoquer une décharge classique.

Des éclairs, on n'ignore rien de leur nature : un courant électrique fulgurant, atteignant parfois des centaines de milliers d'ampères — à comparer au 0,5 ampère d'une prise domestique — qui jaillit du nuage vers le sol, ou se propage entre nuages, ou encore remonte du sol vers le ciel. Mais, ce que l'on comprenait moins, c'est leur déclenchement. Qu'est-ce qui amorce cette décharge brutale dans l'atmosphère, au cœur des imposants nuages d'orage, les cumulonimbus ? Une étude dirigée par Victor Pasko, chercheur à l'université d'État de Pennsylvanie (États-Unis), parue le 28 juillet dans la revue *Journal of Geophysical Research*, propose pour la première fois un scénario complet. Un modèle capable non seulement d'expliquer le contexte électrique du phénomène, mais aussi toutes ses manifestations, visibles et invisibles. Car un éclair, ce n'est pas qu'un flash de lumière et un coup de tonnerre : c'est aussi un déluge de signaux radios, de rayons X, et même de flashs de rayons gamma ultra-énergétiques. Et tout cela en quelques microsecondes à peine…

En théorie, la foudre apparaît lorsque le champ électrique entre deux points (le nuage et le sol par exemple) devient suffisamment intense pour favoriser une décharge. Mais il faut d'abord que localement, à l'endroit de l'amorce de l'éclair, l'amplitude du champ électrique devienne plus grande qu'un champ dit de claquage. Un échange de charges électriques, des électrons, a alors lieu pour rééquilibrer l'ensemble : c'est l'éclair.

« *Le problème,* souligne Sébastien Célestin, professeur de physique à l'université d'Orléans et coauteur de l'étude, *c'est que les champs électriques à l'intérieur des nuages d'orages ne semblent pas assez intenses pour déclencher des éclairs. La valeur du champ de claquage est de 30 kilovolts par centimètre (kV/cm) dans un air sec homogène. Or, nous avons des éclairs pour des champs bien plus faibles.* »

C'est là qu'intervient le modèle proposé par cette étude.

Tout commence lorsqu'un électron très énergétique, parfois en provenance directe de l'espace *via* les rayons cosmiques, rencontre un champ électrique dans un nuage. Ce champ n'est pas assez fort pour faire jaillir directement un éclair, mais il peut suffire à accélérer l'électron, qui devient un électron « runaway » : un électron libre qui file à très haute vitesse, en échappant aux collisions habituelles avec les molécules de l'atmosphère. *« Plus l'électron a d'énergie, moins il risque d'entrer en collision avec les molécules de l'atmosphère. Il va donc pouvoir être accéléré par le champ électrique sur de longues distances* », détaille

DANGEROSITÉ

La sûreté aérienne remise en question

Le nouveau modèle de formation des éclairs ne bouscule pas seulement la théorie : il interroge aussi nos certitudes en matière de sûreté aérienne. Car les avions commerciaux traversent régulièrement les hautes couches orageuses de l'atmosphère — précisément là où se forment les éclairs… et les flashs gamma terrestres. Longtemps jugés rares, ces derniers apparaissent aujourd'hui 100 fois plus fréquents qu'estimé, grâce à de nouveaux détecteurs sur des avions de recherche dans la haute atmosphère ou des ballons stratosphériques. *« On essaie de quantifier la dangerosité de ces phénomènes sur l'aviation civile car cela remet en jeu nos études de risque précédentes »*, concède Sébastien Célestin.

Des électrons, parfois en provenance directe de l'espace, accélérés par le champ électrique des nuages, produisent des photons qui créent d'autres électrons. Ceux-ci libèrent à leur tour des photons. Cette cascade d'événements déclenche la foudre.

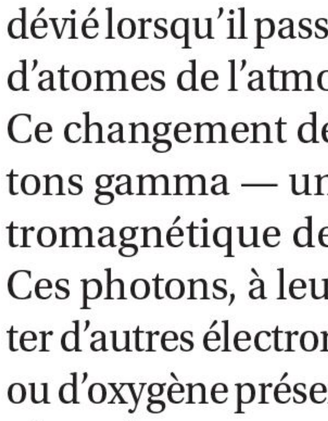
GETTY IMAGES

Sébastien Célestin. Mais en traversant l'air, cet électron est parfois freiné ou dévié lorsqu'il passe trop près de noyaux d'atomes de l'atmosphère.

Ce changement de cap libère des photons gamma — un rayonnement électromagnétique de très haute énergie. Ces photons, à leur tour, peuvent éjecter d'autres électrons des atomes d'azote ou d'oxygène présents dans l'air, par effet photoélectrique : un phénomène décrit par Albert Einstein en 1905 au cours duquel un photon suffisamment énergétique « arrache » un électron d'un atome, en lui transférant toute son énergie. Ces nouveaux électrons runaway sont eux aussi accélérés par le champ électrique du nuage, et peuvent à leur tour émettre des photons gamma. Une partie remonte vers la source, où ils libèrent de nouveaux électrons. Et ainsi de suite. On a une avalanche d'électrons et de photons qui s'auto-entretient. En quelques microsecondes, cette cascade transforme localement l'air en un milieu très ionisé, donc conducteur. Des filaments de décharges peuvent alors circuler sans que le champ ait besoin d'atteindre les 30 kV/cm exigés en laboratoire. Et l'éclair jaillit.

« Notre modèle fonctionne pour les éclairs classiques, mais aussi pour des signaux qu'on n'arrivait pas à relier clairement à un arc électrique », souligne Sébastien Célestin. Les flashs gamma terrestres (ou Terrestrial Gamma-ray Flashes, TGF), par exemple, sont des flashs de rayonnement gamma ultracourts (moins d'une milliseconde), détectés depuis les années 1990 par des satellites d'observation terrestre. Grâce au rôle central de l'effet photoélectrique, le modèle explique comment ces émissions peuvent survenir dans des zones « silencieuses », où aucun arc lumineux n'est encore formé, mais où une avalanche électronique est bel et bien en train de se produire. Même chose pour les Narrow Bipolar Events (NBE), ces décharges radio très rapides, intenses et silencieuses que les antennes VHF (optimisées pour les très hautes fréquences) repèrent à des dizaines de kilomètres, et qui trouvent dans ce nouveau scénario une origine plausible. De la physique fondamentale aux enjeux sanitaires, l'étude des éclairs déborde donc bien loin du laboratoire. Mais l'on retiendra notamment ceci : il peut suffire de quelques électrons venus de l'espace pour déclencher la colère du ciel… ■

Fabrice Nicot



LPC2E/CNRS

« Notre modèle fonctionne aussi pour des signaux qu'on n'arrivait pas à relier clairement à un arc électrique »

Sébastien Célestin, professeur de physique à l'université d'Orléans

L. GODART/ CEA

Des cellules combinant pérovskite et silicium sont développées par le CEA-Liten. L'objectif est d'améliorer leur rendement tout en assurant une bonne stabilité (ici en test sur le toit du bâtiment de l'Institut national de l'énergie solaire, à Chambéry).

Photovoltaïque

La fine révolution des cellules solaires

De plus en plus plébiscités par les Français, les panneaux solaires font l'objet de recherches intenses afin d'améliorer leurs performances. Une nouvelle technologie à base de pérovskites a le vent en poupe. En se déposant en couches minces, elle pourrait à terme permettre de créer des modules ultrasouples et légers pour de nombreuses applications.

Par Fanny Costes et Loïc Chauveau

Sur le marché du solaire photovoltaïque, une technologie domine aujourd'hui : le silicium. *« Il représente 98 % des 600 gigawatts installés l'année dernière. C'est ce qu'on appelle des* wafers *: du silicium découpé en plaquettes. Le rendement théorique de ces cellules se situe autour de 29 %* [soit une restitution de 290 watts par m^2 au maximum]. *S'il atteint 27,3 % expérimentalement pour les cellules record, sur le marché il tourne autour de 22 %* », explique Daniel Lincot, directeur de recherche émérite au CNRS et ancien directeur scientifique de l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF). Si cette technologie est bien la clé de la massification actuelle du solaire photovoltaïque, l'accroissement futur de la filière devrait résider dans l'utilisation combinée de plusieurs technologies. *« Or, une vingtaine sont en cours de développement dans le monde. Et quand vous suivez leur évolution et voyez qu'un rendement n'arrête pas d'augmenter, c'est qu'il se passe quelque chose!* », s'enthousiasme le chercheur.

C'est justement ce qu'on observe avec la technologie « pérovskite ». Initialement, ce nom d'un minéralogiste russe désignait un minéral, du titanate de calcium ($CaTiO_3$). Dans le cadre du photovoltaïque, il désigne des matériaux présentant la même structure mais de composition hybride organique/inorganique (du type $CH_3NH_3PbI_3$). Aujourd'hui, il s'agit de toute une famille de matériaux présentant d'excellentes propriétés photovoltaïques, ajustables en fonction de leur composition.

La recherche s'est penchée dessus de manière croissante depuis 2009. Notamment parce que, là où le silicium impose de découper des plaques d'environ 150 micromètres d'épaisseur à partir de gros

TECHNOLOGIE

Le photovoltaïque a aussi des atouts à l'intérieur

Le photovoltaïque d'intérieur convertit la lumière artificielle en électricité, même avec une intensité jusqu'à 100 fois plus faible qu'en extérieur. Il permet d'alimenter durablement des capteurs dans les bâtiments connectés, ou des montres, télécommandes, claviers, réduisant le recours aux piles jetables, les coûts de maintenance et l'impact environnemental.
Le défi est de stabiliser des performances élevées dans le temps. Plusieurs technologies ont déjà été déployées : les unes s'appuient sur du silicium amorphe, les autres sur des technologies organiques comme l'OPV (Organic photovoltaic). Mais les cellules solaires à colorant (DSSC) offrent à ce jour de meilleures performances et une stabilité prouvée sur plus de quinze ans. Elles utilisent un colorant pour absorber la lumière et produire de l'électricité.

G-LYTE

Les cellules In-dye peuvent convertir en électricité 35 % de la puissance lumineuse au sein d'un bâtiment.

« En sélectionnant des colorants spécifiquement pour les environnements intérieurs, nous obtenons des performances inégalées dans des environnements réels, explique Franck Barath, directeur de G-Lyte. *Notre cellule In-dye est jusqu'à trois fois plus efficace que le silicium amorphe et deux fois plus que les technologies organiques récentes comme l'OPV, qui souffrent d'un manque de stabilité après quelques années. Le défi actuel est la production en masse à coût compétitif. »*

lingots préalablement purifiés et fondus à 1400 °C, la pérovskite se dépose en couches minces d'environ un micromètre d'épaisseur, et à 100 °C seulement. On peut ainsi imaginer des modules ultralégers et souples pour de nombreuses applications (véhicules, agrivoltaïque, bâtiments…). Avec une réduction de l'empreinte carbone de 70 %. *« Les couches minces sont le futur du photovoltaïque à mes yeux,* poursuit Daniel Lincot. *On va passer progressivement d'une technologie de découpe à une technologie de revêtement, comme on est passé des tubes cathodiques aux écrans plats. »*
Cet enthousiasme est d'autant plus partagé qu'en laboratoire, les cellules pérovskites ont atteint des rendements de 26,5 % et les premiers produits du marché (où le chinois Longi domine) avoisinent les 20 % — des résultats déjà presque équivalents à la technologie silicium *wafer*. *« Mais pour parvenir à un produit fiable dans le temps, il faudra résoudre deux problématiques,* souligne Frédéric Sauvage, directeur de recherche au CNRS et cofondateur de Crystal Energy. *Les pérovskites, comme tout matériau facile à faire, sont faciles à défaire. Elles sont très sensibles à l'eau, à la lumière, à l'oxygène, à la température… De plus, cette technologie repose sur du plomb soluble. Il faudra donc trouver la solution pour que le plomb ne se dissolve pas dans l'environnement. »*

Comprendre les mécanismes de dégradation des pérovskites

D'ailleurs, au début, peu de personnes croyaient dans les pérovskites car elles se dégradaient très vite, en deux ou trois jours sous l'effet de la démixtion (séparation spontanée d'un mélange homogène). *« Mais, depuis, on arrive à 3000 heures et plus,* rassure Daniel Lincot. *On peut remplacer chaque élément du mélange par des éléments similaires sur le tableau de Mendeleïev, et ainsi gagner en stabilité et en durabilité. À terme, le plomb pourrait également être remplacé. »*
En novembre 2024, Frédéric Sauvage a par ailleurs entamé un travail de recherche fondamentale de cinq ans avec l'équipe du Laboratoire de réactivité et chimie des solides (LRCS). Objectif du projet Gemini : comprendre l'origine et étudier les mécanismes de dégradation des pérovskites selon différents facteurs de stress. *« Aujourd'hui, les Asiatiques ont trop avancé dans le domaine des pérovskites de première génération, à nous de créer la deuxième. Et pour faire cela, il faut comprendre en profondeur et faire confiance à la recherche fondamentale pour assurer ensuite un transfert de technologie très performante à nos industriels »*, détaille le chercheur.
Mais les pérovskites seules, même stabilisées, ne dépasseront jamais la barrière

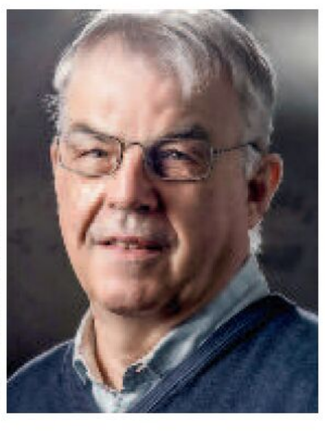
L. GODART / CEA

Les chercheurs du CEA-Liten étudient les procédés de dépôt des pérovskites sur des cellules et leur stabilité en vue d'une durée de 20 à 25 ans.

des 33 % de conversion électrique. En cause, la limite de Shockley-Queisser, qui permet de déterminer l'efficacité théorique maximale d'une cellule photovoltaïque mono-jonction (une seule couche d'un matériau semi-conducteur).
« De plus, le silicium ne convertit de façon optimale qu'une partie du spectre solaire, surtout dans le rouge, vers les grandes longueurs d'onde. Les pérovskites, elles, convertissent très bien dans le bleu, explique Daniel Lincot. *Les combiner permet de mieux convertir le spectre et atteindre de plus hauts rendements. Pour cela, on crée des cellules multi-jonctions composées de plusieurs couches de matériaux semi-conducteurs, qui peuvent absorber et convertir différentes longueurs d'onde du spectre solaire. C'est le graal! »*
Aujourd'hui, chercheurs et industriels avancent en mettant une cellule pérovskite sur une cellule silicium. Rendement théorique : 43 %. Ils s'en rapprochent rapidement. Récemment, le fabricant Longi d'un côté, et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) en partenariat avec la giga-usine 3SUN (située en Italie) de l'autre, ont respectivement annoncé des rendements record : 34,85 % pour le premier, 30,8 % pour les seconds. *« Mais le rendement de Longi a été calculé sur une tête d'épingle alors que nous l'avons atteint sur une surface de 3 cm par 3 cm,* tempère David Duca, chef du département des technologies solaires au sein du CEA-Liten (Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux). *Notre idée est de travailler de manière incrémentale sur les procédés pour mettre au point des technologies répétables et transférables. »*

À plus long terme, des cellules incolores et transparentes

Pour y parvenir, il reste encore des verrous à lever. La fiabilité est le principal. Il faut aussi mettre au point des procédés industrialisables de dépôt sous vide ou sous solvant des pérovskites, des moyens d'encapsulation des cellules en capacité de garantir une durée de vie de 20-25 ans. David Duca expose encore un autre enjeu : *« Les tensions des panneaux sont de plus en plus importantes afin d'avoir plus de puissance délivrée et moins de câbles de cuivre à fournir et tirer. »* Les chercheurs doivent donc s'assurer que les pérovskites se comportent bien sous haute tension. De son côté, Daniel Lincot a cofondé en 2021 une start-up, Soleil sur Yvette Photovoltaïque (Soypv), qui vise à produire en France des cellules entièrement en couches minces associant les pérovskites et le CIGS (cuivre-indium-gallium-sélénium), un composé chimique mature qui remplace très bien le silicium. Elles promettent de produire des cellules ultrasouples et légères, avec un rendement de 26,3 %.
À plus long terme, les chercheurs imaginent une solution plus disruptive encore : les cellules incolores et transparentes. *« Imaginez que tout le verre qui vous entoure produise de l'électricité,* s'enthousiasme Frédéric Sauvage. *La majorité du photovoltaïque aujourd'hui repose sur des semi-conducteurs inorganiques, le silicium, les pérovskites, le CIGS… Tous sont noirs ou très foncés, parce qu'ils vont capter un maximum d'énergie lumineuse dans la partie visible*



ERIC GARAULT / PASCO

« On va passer d'une technologie de découpe à une technologie de revêtement, comme on est passé des tubes cathodiques aux écrans plats »

Daniel Lincot, directeur de recherche émérite au CNRS et ancien directeur scientifique de l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France

du spectre solaire. Mais si on est capable de dire : le visible ne m'intéresse pas, je laisse tout passer, et je ne sélectionne que la partie invisible (3-4 % dans l'UV, et 46-47 % dans le proche infrarouge), la résultante, c'est un système qui absorbe toujours de la lumière, mais qui est complètement transparent et incolore. »

Réduire la dépendance aux matériaux rares

Depuis 2012, ce chercheur s'emploie ainsi à développer une cellule transparente et incolore inspirée de la photosynthèse. L'une des prouesses est de s'affranchir de tous les semi-conducteurs en travaillant sur un système photovoltaïque moléculaire. Au cœur du système, un colorant synthétique — sans plomb ni métaux critiques — qui n'absorbe que l'UV et le proche infrarouge, assorti de nano-catalyseurs et d'un électrolyte, le tout enfermé entre deux verres. Et tout est transparent. *« Nous avons même réussi à aligner l'indice de réfraction de nos molécules avec celui du verre pour ainsi éviter toute teinte occasionnée par la réfraction de la lumière ! »*

Reste à passer à l'échelle industrielle. Les premiers modules de 50 cm^2 délivrent 42 watts-crête/m^2 et l'objectif est d'atteindre 50 Wc/m^2 sur des grandes surfaces (aujourd'hui un panneau solaire mesure 1,7 m^2 en moyenne et a une puissance comprise entre 300 et 400 Wc). *« Sur une maison contemporaine, cela permettrait de produire la moitié de l'électricité dont elle a besoin,* assure Frédéric Sauvage. *Notre solution est sensible à la lumière diffuse, donc peu importe l'orientation, elle produira. »*

Dernier atout de cette solution, son extrême sobriété : à peine 20 mg de pigments par m^2, 10 g d'oxydes jouant le rôle de semi-conducteurs et 50 ml d'électrolyte. Pas de matériaux lourds ni toxiques. C'est essentiel, car au-delà de la question du rendement, le solaire ne s'imposera qu'en réduisant drastiquement sa dépendance aux métaux rares, à l'argent en particulier. ■ **F. C.**

IMAGEBROKER/STEPHAN GOERLICH/ANDIA.FR

Plusieurs critères sont à examiner avant l'installation de panneaux solaires : le type de revêtement de la toiture, la consommation du foyer, l'ensoleillement…

L'engouement pour l'autoconsommation se confirme

Pas à pas, voici les étapes à respecter pour installer des panneaux solaires chez soi, en bonne conformité et en toute sécurité.

Le photovoltaïque s'impose aujourd'hui comme un levier majeur de transition énergétique chez les ménages français. C'est en tout cas ce que traduisent les chiffres publiés par Enedis en juin 2024 : 556 039 foyers étaient équipés d'installations solaires en autoconsommation, un chiffre multiplié par trois en deux ans. Mais cet engouement ne doit pas faire oublier que chaque installation implique non seulement un investissement conséquent, mais aussi la mise en place d'un système de production d'électricité. Pour garantir bon fonctionnement et rentabilité, il vaut donc mieux optimiser sa mini-centrale solaire en toiture.

« La première étape, c'est de prendre contact avec un installateur certifié RGE [reconnu garant de l'environnement]. *C'est la seule manière d'avoir une garantie décennale de l'installation et de s'assurer que l'installateur maîtrise les spécificités technologiques »*, assure Julien Destré, fondateur de Tera Solar, une entreprise franco-suisse d'ingénierie et d'installation photovoltaïques.

Le premier rendez-vous doit permettre de réaliser un diagnostic complet de la toiture et du profil de consommation

du foyer. Vérifier l'état de la toiture, son inclinaison, son orientation et le type de couverture est en effet essentiel pour choisir le bon système. *« Nous réalisons généralement un survol de drone pour ensuite créer une modélisation 3D de la maison,* précise Julien Destré. *Le vol est entièrement automatisé, ce qui nous permet d'effectuer en dix minutes un relevé complet en éliminant les risques liés à l'accès direct à la toiture. »*

L'étude doit être très détaillée : elle recense l'ensemble des éléments à installer sur le toit, estime la production solaire annuelle, puis calcule les taux d'autoconsommation et d'injection dans le réseau. Elle permet également d'évaluer le pourcentage de la consommation du foyer qui sera potentiellement couvert par la production photovoltaïque et de proposer un bilan économique complet. En France, ce type d'analyse est facilité par le recours aux données issues des compteurs Linky, dont 37,2 millions de Français sont équipés. Si le client accepte de partager ces données disponibles par tranche de 30 minutes sur une année complète, l'installateur peut établir un profil de consommation très précis et optimiser l'installation en conséquence.

L'orientation et l'inclinaison des panneaux sont déterminantes

Au-delà de la collecte de données, le dimensionnement du système dépend de critères physiques. L'orientation et l'inclinaison des panneaux sont déterminantes. Bien que l'orientation plein sud à 35° offre, sur le papier et sur le territoire français, un optimum pour produire un maximum d'énergie, une toiture à double orientation (est-ouest) permet d'obtenir une production plus régulière tout au long de la journée, facilitant ainsi l'autoconsommation. *« Se focaliser sur le plein sud était justifié quand on voulait injecter un maximum d'énergie sur le réseau, mais à l'heure où l'autoconsommer est plus rentable, mieux vaut privilégier plusieurs orientations »*, conseille Julien Destré. Par ailleurs, le type de tuile influe sur le choix du système de fixation.

TERASOLAR

« La première étape, c'est de prendre contact avec un installateur certifié reconnu garant de l'environnement (RGE) »
Julien Destré, fondateur de Tera Solar

Quant au choix des panneaux ou de la puissance installée, clients comme installateurs ont moins d'options. Sur le marché aujourd'hui, toutes les solutions sont exclusivement monocristallines (panneaux composés de cellules issues d'un seul cristal de silicium, parfaitement homogènes, et adaptés à l'ensoleillement moyen de France métropolitaine). Ces panneaux offrent des rendements se situant autour de 22-23 %. *« Pour des toitures végétalisées, il peut être opportun de choisir des panneaux bifaces qui permettent de capter aussi des photons par la face arrière et d'obtenir des gains supplémentaires de l'ordre de 10 à 15 % en production annuelle,* avance le spécialiste. *Mais sur une tuile rouge et foncée, il y a peu de réflexion lumineuse. Il est alors préférable d'opter pour le monoface. »*

Quant à la puissance, l'État français interdit aux particuliers d'injecter plus ▶

PROJETS PILOTES

Place au ferrovoltaïque ?

Utiliser les voies de circulation pour produire de l'énergie solaire sans accaparer de terres agricoles ou espaces naturels vitaux pour l'avenir, c'est le défi qu'au moins deux initiatives essayent de relever. En France, dans son technicentre d'Achères (Yvelines), la SNCF teste depuis janvier le système Solveig : un prototype réversible permettant de déployer huit panneaux photovoltaïques sur roulettes, qui viennent ensuite se poser facilement, sans travaux et sans ancrage dans le sol car ils reposent sur une seule fondation : la voie ferrée. Objectif : valider les performances pour déployer le système à grande échelle sur les lignes non circulées en France. Mais en Suisse, la volonté de la start-up Sun-Ways est d'aller au-delà en installant des panneaux solaires photovoltaïques entre les rails et sur des voies ouvertes au trafic ferroviaire. Une première centrale amovible a été inaugurée fin avril à Buttes, dans le canton de Neuchâtel, sur un tronçon de 100 mètres linéaires. Les autorités suisses ont donné trois ans à Sun-Ways pour valider la compatibilité entre exploitation et maintenance d'une ligne de train et pilotage d'une installation photovoltaïque (production dans le temps, vitesse de dégradation, sécurité…).

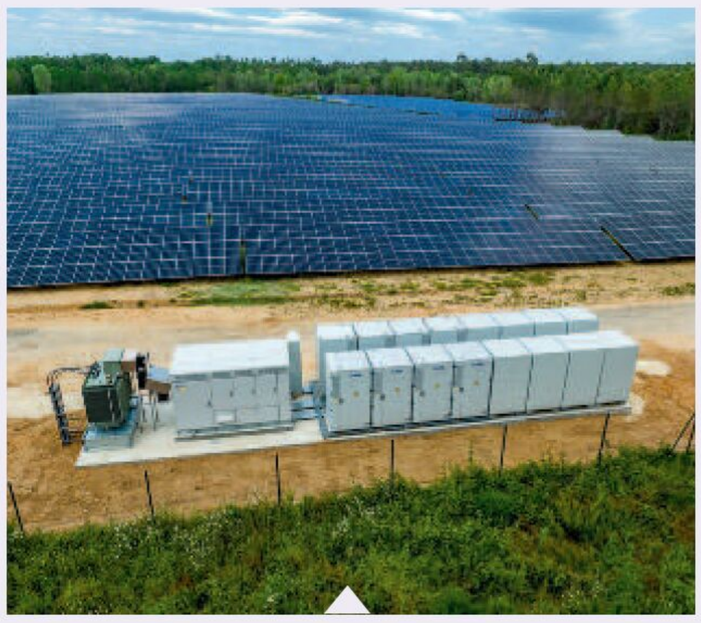
Aujourd'hui, la France et la Suisse comptent à elles seules près de 35 000 km de voies ferrées. Le potentiel est donc conséquent. **F. C.**

INFRASTRUCTURES

Un réseau électrique à stabiliser

Les gestionnaires des réseaux doivent anticiper l'arrivée d'une électricité produite par des énergies renouvelables intermittentes.

En 2023, 29 % de l'électricité consommée en France provenaient des énergies renouvelables — intermittentes (éolien, solaire) ou non (hydraulique, biomasse). En 2030, cette part passera à 40 %. Le réseau électrique sera-t-il prêt à gérer une production provenant majoritairement du soleil et du vent ? Les gestionnaires de réseaux RTE (pour la haute tension) et Enedis (pour les moyenne et basse tension) ont plusieurs outils techniques qui permettent de stabiliser le réseau en permanence. Tout d'abord, l'ensemble du réseau européen est interconnecté. L'équilibre de l'offre et de la demande s'effectue désormais à l'échelle du continent. Ainsi, le *black-out* vécu par l'Espagne et le Portugal le 28 avril dernier ne s'est pas propagé au reste du continent grâce à la déconnexion rapide de la péninsule. Les échanges d'électrons entre pays excédentaires et déficitaires permettent de lisser les variations de production et de consommation instantanément. Ce maillage s'intensifie grâce à des investissements massifs dans des interconnexions comme celle en cours d'achèvement entre la Bretagne et



ZE ENERGY

À Gièvres (Loir-et-Cher), des batteries lithium-ion stockent l'énergie solaire en excédent fournie par la ferme photovoltaïque.

l'Irlande. Les excédents de production des champs d'éoliennes irlandais alimenteront bientôt une région française qui ne sera plus un cul-de-sac du système électrique de par sa position géographique à l'extrême ouest de l'Europe.

Par ailleurs, tous les électriciens disposent de systèmes de production instantanés pour maintenir la fréquence du réseau européen à 50 hertz. En France, cette tâche est dévolue aux stations de transfert d'énergie par pompage (Step). Les Step turbinent de l'eau quand la demande est trop forte et font remonter par pompe l'eau retenue dans un bassin inférieur pour remplir de nouveau le bassin supérieur. Les Step développent une puissance de 5 gigawatts (GW), soit l'équivalent de cinq réacteurs nucléaires. L'intermittence de la production est ainsi munie d'un garde-fou. Pour ajuster production et consommation et assurer les baisses et les pics de l'une et de l'autre, les gestionnaires disposent de moyens d'« effacement ». Ils peuvent agir en coupant l'énergie à certains clients qui sont rémunérés pour le service rendu, ou en diminuant la puissance chez les particuliers. À l'inverse, un excès de production peut être stocké en attendant que la consommation ne reparte. Ainsi, depuis des décennies, le tarif de nuit des chauffe-eau des particuliers comme des entreprises servait à inciter les consommateurs à stocker l'excédent de production des centrales nucléaires dans les heures creuses de consommation. Demain, la plus grande variabilité de la production sera lissée par la sobriété des usages

de 6 kilowatts-crête (kWc) sur le réseau quand ils sont raccordés en monophasé. Seuls les foyers raccordés en triphasé peuvent avoir des installations plus puissantes, jusqu'à 9 kWc. Jusqu'à présent, une grande partie de l'énergie solaire produite repartait sur le réseau. Mais les récentes évolutions tarifaires — de 13 centimes à 4 centimes le kWh pour les installations résidentielles inférieures ou égales à 9 kWc — conduisent désormais à privilégier l'autoconsommation et le stockage grâce à des batteries.

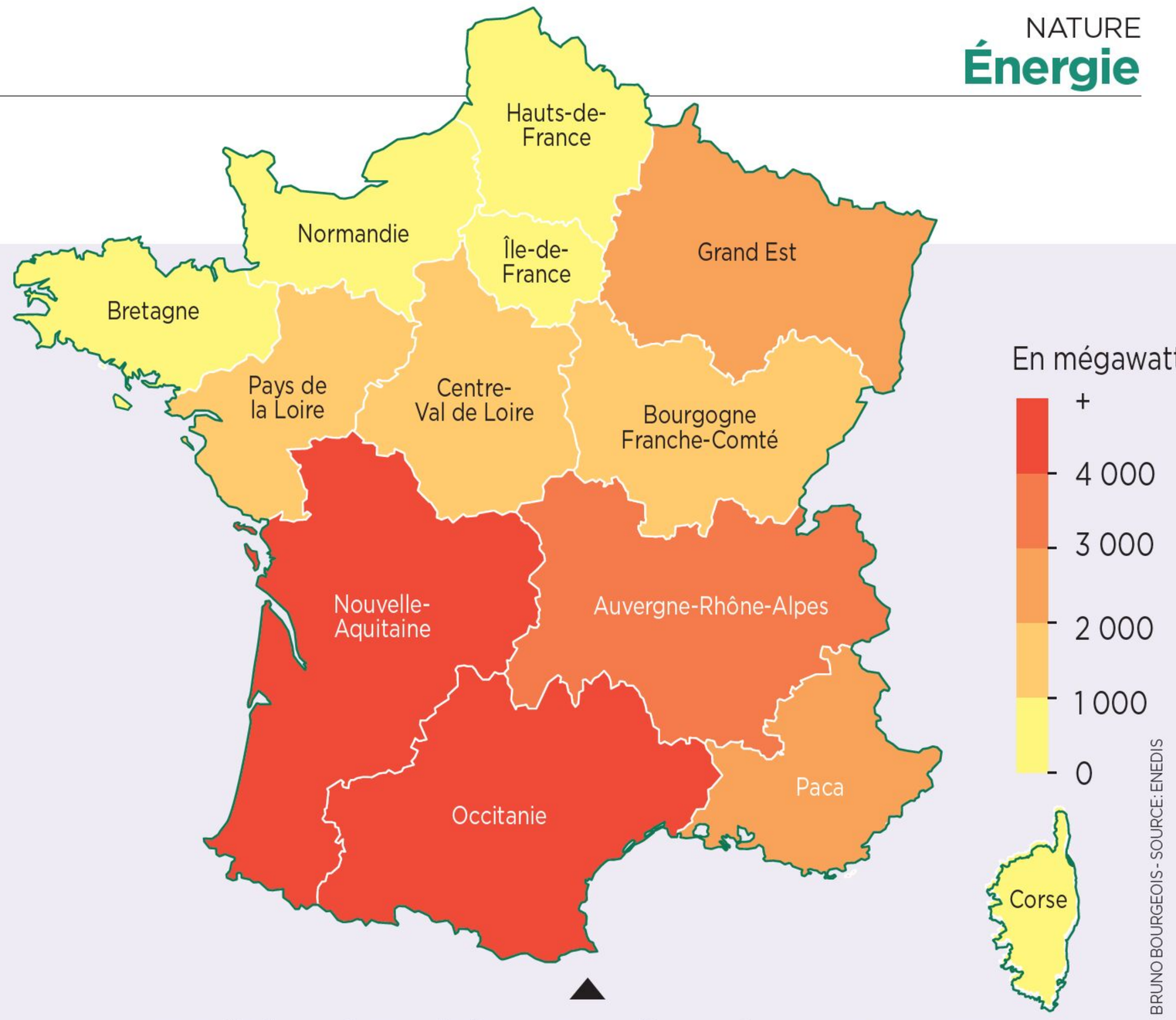
Premier conseil : changer ses habitudes en programmant l'utilisation du lave-linge en journée plutôt que la nuit, par exemple. Ensuite, il est intéressant de mettre en place un pilotage intelligent des charges, par exemple pour alimenter sa voiture électrique uniquement au moment où l'électricité issue du solaire est produite. Il est aussi possible de piloter la pompe à chaleur. En complément, l'installation de batteries de stockage (typiquement de 7 ou 14 kWh pour la France) devient une option de plus en plus rentable : le coût de ces solutions a été divisé par deux lors des douze derniers mois. Ces batteries, souvent à base de lithium-fer-phosphate pour une sécurité accrue, se placent à proximité de l'onduleur et permettent, dans certains cas, d'atteindre jusqu'à 100 % d'autonomie.

(la consommation électrique baisse depuis 2010 grâce à l'efficacité énergétique des machines et les comportements des consommateurs). Mais une parfaite intégration des énergies renouvelables reste un défi technique et économique. Technique, car il faut équiper de compteurs et transformateurs un nouveau réseau apte à collecter une énergie décentralisée et à l'adapter au plus juste des consommations locales. Économique, avec un « signal prix » qui incite à consommer à la bonne heure. Ainsi, il sera judicieux à l'avenir de faire marcher ses appareils les après-midi ensoleillés, surtout si le foyer ou l'entreprise possède des panneaux solaires en autoconsommation *(lire p. 40)*.

La question se pose déjà. Les après-midi de fort ensoleillement, des parcs photovoltaïques sont déconnectés du réseau du fait d'une production trop forte. Ces déséquilibres momentanés pourraient être résolus par le stockage. À l'avenir, les batteries vont permettre de stocker l'énergie produite en excès par grand vent ou fort ensoleillement. Entre 2019 et 2024, les capacités de stockage de la Californie (États-Unis) sont ainsi passées de 770 à 10 400 mégawatts (MW) grâce à des centres constitués d'empilements de batteries lithium-ion. En Europe, le leader européen des solutions de stockage Corsica Sole développe des centres de batteries en Corse, mais aussi en Belgique et dans les pays baltes qui cherchent à se couper du réseau russe. Le parc de stockage de Harju (Estonie) aura une capacité totale de 200 MW. Les pays Baltes visent une autonomie électrique en 2050 grâce aux énergies renouvelables. Autre solution de stockage : le sel fondu. La chaleur produite à partir de centrales solaires à concentration est stockée la journée pour être turbinée la nuit et produire de l'électricité. C'est ainsi que fonctionne la centrale solaire Noor à Ouarzazate, au Maroc.

Enfin, le « power to gas » consiste à transformer l'électricité en excès en hydrogène vert grâce des électrolyseurs. À Fos-sur-Mer, le démonstrateur Jupiter 1000 géré par GRT-gaz fonctionne depuis quatre ans. Corsica Sole pilote depuis sa centrale solaire de Folelli (Haute-Corse) le programme Alchymiste où l'énergie produite en excès est transformée en hydrogène alimentant les centrales à gaz de l'île et quelques véhicules.

La technique fait cependant débat car les rendements de conversion sont mauvais. Ses partisans avouent préférer un bilan médiocre qu'une perte totale de l'énergie produite. **L. C.**



Installations photovoltaïques raccordées au réseau au 31 mars 2025.

Une fois l'étude préliminaire réalisée et validée par le client, l'installation de panneaux photovoltaïques ne présente aucune difficulté majeure. Pour un pavillon standard, comptez deux jours avec une équipe de deux personnes, sans intervention lourde à l'intérieur du bâtiment. L'installateur s'occupe ensuite de toutes les démarches administratives, telles que le raccordement auprès d'Enedis et la vérification de la conformité de l'installation. En 2024, pour une installation photovoltaïque en surimposition de toiture, il fallait compter en moyenne entre 6500 et 8000 euros TTC pour un système de 3 kWc, entre 12 000 et 14 000 euros TTC pour 6 kWc, et entre 16 000 et 18 000 euros TTC pour 9 kWc.

Néanmoins, plusieurs changements importants ont été décidés par l'État français cette année. La prime d'investissement, versée au bout de douze mois aux particuliers, passe de 160 euros par kWc installé à 80 euros. Et le tarif de rachat de l'électricité a donc été divisé par plus que trois. Néanmoins, à partir du 1er octobre, la TVA sera abaissée à 5,5 %, contre 20 % actuellement. Pour l'entretien, il faudra prévoir un nettoyage tous les cinq ans en moyenne, même si cela varie en fonction des zones d'habitat. Comptez alors entre 200 et 400 euros. ■ **F. C.**

Le trésor génétique des pommes oubliées

Deuxième fruit le plus consommé en France après la banane, la pomme a l'avantage de pousser sous nos latitudes. Mais pour combien de temps ? Afin d'étudier la résistance au changement climatique des pommiers, et pour préserver des variétés sauvages, des vergers conservatoires font l'objet d'un suivi scientifique poussé. Reportage à Saclay.

Sur le plateau de Saclay (Essonne), à peine excentrées des bâtiments de l'université, s'alignent des rangées d'arbres. Sur certains, de petits fruits verts commencent à pousser : des pommes. Mais dans ce verger, ce sont des *Malus sylvestris* qui ont été plantés ; le goût des fruits de ce pommier sauvage n'est pas aussi agréable que celui d'une reine des reinettes, ou d'une golden delicious… Si on ne peut pas croquer les fruits qui poussent ici, cet écrin de nature sert néanmoins de laboratoire à ciel ouvert : il pourrait aider les pommiers cultivés à mieux résister au changement climatique. *« Le pommier sauvage européen est l'une des espèces qui a contribué génétiquement au pommier cultivé, et il a résisté aux derniers changements climatiques,* explique Amandine Cornille, professeure associée à l'université de New York Abu Dhabi (Émirats arabes unis), détachée du CNRS. *Le pommier sauvage a donc potentiellement des gènes qui permettraient au pommier cultivé de s'adapter au climat, si on les incorporait au génome de nos variétés.* » En 2017, à la suite de ses travaux de thèse et de post-doctorat sur la domestication des pommiers et ses conséquences, elle a lancé le projet de ce verger conservatoire expérimental, avec une équipe pluridisciplinaire issue de l'université Paris-Saclay, de l'Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), ou encore d'AgroParisTech. Les pépins de 1800 *Malus sylvestris* ont été mis en germination. 400 arbres ont été transférés sur le plateau de Saclay, et les autres ont été répartis sur six autres sites, en France et en Roumanie.

A. CORNILLE

« Le pommier sauvage a potentiellement des gènes qui permettraient au pommier cultivé de s'adapter au climat »

Amandine Cornille, professeure associée à l'université de New York Abu Dhabi (Émirats arabes unis)

Une base de données avec le suivi individuel de chaque arbre

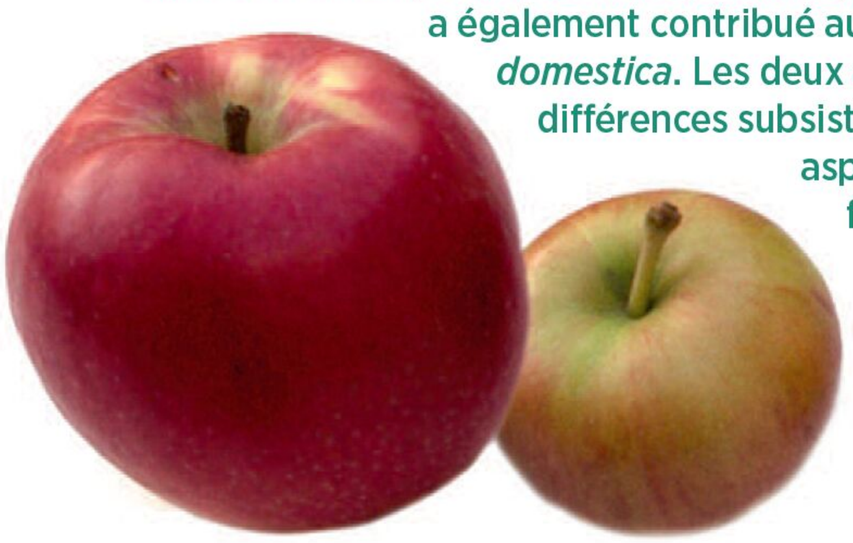
Six ans plus tard, les pépins ont bien grandi, certains arbustes dépassent désormais les deux mètres. Ingénieur à l'Inrae, Mathieu Brisson arpente les allées, un pied à coulisse connecté entre les mains. *« C'est un outil qui sert à mesurer le diamètre des troncs, afin de savoir si l'arbre est vigoureux ou non, autrement dit*

Sur le plateau de Saclay, l'ingénieur Mathieu Brisson arpente le verger conservatoire pour surveiller la croissance des pommiers implantés (ici, il compte le nombre de fleurs).

ESPÈCES

Pommier sauvage versus domestiqué : quelles différences ?

Deux noms, pour deux espèces différentes : *Malus sylvestris* est un arbre sauvage, qui pousse spontanément dans les forêts européennes ; *Malus domestica* est le nom scientifique du pommier cultivé, que l'on retrouve dans nos vergers, et qui recoupe des milliers de variétés, donnant les pommes que nous retrouvons sur les étals. Ce dernier a été domestiqué par l'humain il y a environ 4000 ans, c'est-à-dire qu'il a fait l'objet de sélections, de croisements, de plantations. L'un de ses ancêtres est un pommier sauvage asiatique, *Malus sieversii*, mais *Malus sylvestris* a également contribué au patrimoine génétique de *Malus domestica*. Les deux arbres se ressemblent, mais des différences subsistent : des feuilles plus petites et un aspect « buisson » chez le sauvage, des fruits généralement plus gros et plus sucrés chez le domestique.



AWAIS KHAN ET AL.

◀ **« Malus domestica »** (à gauche) est généralement plus gros que « Malus sylvestris » (à droite).

s'il a beaucoup crû par rapport à l'année dernière », détaille-t-il. Depuis qu'ils ont été plantés, les pommiers sont surveillés de près afin d'observer leur croissance, leur taux de floraison, la taille de leurs fruits… Autant d'indices sur leur état et leur capacité à se développer dans ce nouvel environnement. *« Nous relevons quand apparaissent les bourgeons, les fleurs, évaluons l'intensité de leur floraison, nous comptons le nombre de fleurs qui donnent des fruits, combien de pépins ceux-ci contiennent, leur taux de sucre… »*, liste Mathieu Brisson.

Reproduire des conditions les plus proches du milieu naturel

Ces observations phénologiques sont complétées par des mesures de chlorophylle et de flavonoïdes, deux composantes des feuilles, qui montrent *« si les arbres parviennent à mobiliser l'azote dans le sol »*, précise Mathieu Brisson. Il suffit de coincer une feuille entre les deux bras d'une pince connectée pour que les taux s'affichent. *« Je réalise dix mesures par arbre, sur des feuilles situées à des hauteurs différentes, et dans des orientations distinctes, car les valeurs varient en fonction de ces paramètres »*, décrit Maxime Criado, doctorant à l'université Paris-Saclay, qui accompagne Mathieu Brisson.

Toutes les données récoltées sont enregistrées dans des bases qui permettent le suivi individuel de chaque arbre. Les mêmes mesures étant réalisées sur les autres vergers, l'objectif est aussi d'identifier d'éventuelles différences entre les sites, dont les conditions ne sont pas les mêmes : *« Nous avons choisi les emplacements des vergers afin d'avoir des enveloppes climatiques différentes : Villeneuve-d'Ascq dans le Nord, Gotheron, près de Valence dans la Drôme, ou encore en Bretagne, et même en Roumanie »*, souligne Amandine Cornille.

À chaque fois, les conditions les plus proches de celles d'une zone naturelle sont reproduites : pas d'intrants, zéro pesticide. *« Bien sûr, il y a des biais,* reconnaît Mathieu Brisson, *comme le* ▶

fait qu'il y ait uniquement des pommiers, ce qui n'est pas le cas dans la nature. » Mais étudier des espèces sauvages dans leur milieu naturel présente des *« limites matérielles et budgétaires »*, relève Amandine Cornille, d'où l'initiative de ce projet *ex situ*. À l'inverse des céréales, les fruitiers ont été peu étudiés, et encore moins les espèces sauvages. *« Il est difficile de les trouver en forêt, de les échantillonner. De plus, leur suivi est un travail au long cours qui nécessite beaucoup d'énergie,* observe la chercheuse. *En matière de réponse au changement climatique, on s'attend à des schémas très différents de ceux des céréales, car ce sont des espèces pérennes, et non annuelles, qui, une fois plantées, doivent faire face aux aléas.* »

Les taux de chlorophylle et de flavonoïdes des pommiers sont relevés sur les feuilles par le doctorant Maxime Criado à l'aide d'une pince Dualex.

Le diamètre du tronc est mesuré grâce à ce pied à coulisse connecté. Les données de croissance de l'arbre permettent de fournir des indices sur sa vigueur.

Empêcher la disparition du pommier sauvage

Amandine Cornille et ses collègues se servent ainsi des vergers conservatoires comme supports de recherche génétique : certains gènes de *Malus sylvestris* permettent-ils de mieux résister à la sécheresse ? aux fortes chaleurs ? à des pucerons ou des maladies, dont certaines apparaissent avec le changement climatique ? Grâce à des prélèvements de bourgeons, fleurs ou feuilles, les équipes de chercheurs effectuent des analyses approfondies en laboratoire. *« Peut-être pourrons-nous identifier du matériel intéressant pour les programmes d'amélioration variétale »*, avance Amandine Cornille, faisant référence à d'éventuels croisements avec le pommier cultivé, pour renforcer certaines propriétés de celui-ci. La mise en lumière d'individus particulièrement adaptés à certains climats pourrait aussi être utile aux programmes de reforestation de l'Office national des forêts (ONF), afin de réintroduire des pommiers sauvages sur des territoires où ils seraient susceptibles de survivre.

C'est aussi l'une des raisons d'être de ce projet : conserver des espèces qui sont menacées dans nos forêts. Plusieurs vergers conservatoires de pommiers domestiqués ont éclos en France. L'association des Croqueurs de pommes se donne notamment pour mission de préserver les variétés anciennes ou régionales, largement supplantées par un nombre très réduit de variétés vendues dans le commerce. Mais de telles collections à vocation de préservation sont beaucoup plus rares pour les espèces sauvages, pourtant elles aussi en diminution. En plus de la fragmentation de leurs habitats, les pommiers sauvages doivent faire face à la « concurrence » de leurs voisins cultivés. Si la domestication du pommier par l'humain a conduit à des hybridations de l'espèce sauvage vers la cultivée, ces hybridations ont lieu également *« de nos vergers vers les populations naturelles*, indique Amandine Cornille. *Une étude à l'échelle de l'Europe a montré que plus de 25 % des populations au sein des forêts étaient des hybrides. Nous avons montré que l'humain influençait ces flux de gènes, car plus les vergers de pommiers cultivés sont nombreux autour des populations naturelles, plus les niveaux d'hybridation sont élevés.* » Une question se pose

alors : le pommier sauvage « pur » est-il voué à disparaître ? Pour éviter cette potentielle extinction, les vergers conservatoires comme celui de Saclay jouent un rôle de « banque » : *« Pour préserver des espèces pérennes, il est nécessaire de créer des collections vivantes »*, précise Amandine Cornille. Les stocks de graines ne suffisent pas pour les arbres, qui mettent plusieurs années à pousser et à se reproduire, quand l'urgence climatique peut nécessiter d'avoir accès à des arbres matures rapidement.

Les vergers conservatoires mettent ainsi à disposition du pollen et des fleurs, et offrent un réservoir de diversité génétique. Tous les arbres qui grandissent sur le plateau sont des *Malus sylvestris*, mais leurs pépins proviennent de cinq zones géographiques différentes : France, Danemark, Italie, Roumanie et Autriche. Cinq territoires qui correspondent aussi à cinq groupes génétiques, susceptibles de produire des arbres qui réagissent différemment. *« Ils sont encore trop jeunes pour distinguer des différences morphologiques frappantes »*, constate Mathieu Brisson.

Les paramètres individuels de l'arbre entrent aussi en jeu

En revanche, son collègue Maxime Criado commence déjà à exploiter les informations recueillies au cours des cinq dernières années. *« En combinant les données climatiques récupérées sur les territoires d'origine des différents groupes et les données génétiques, nous pouvons prédire l'adaptation de chacun de ces groupes à son nouvel environnement,* explique le chercheur. *Mon travail consiste à comparer le comportement réel de ces arbres aux prédictions, afin de vérifier la pertinence de celles-ci.* » S'il s'avère qu'un groupe génétique ou une variété particulière s'adapte effectivement mieux à climat donné, les solutions de réintroduction pourraient être réfléchies en ce sens. *« En cinq ans, nous avons déjà identifié de nombreux gènes impliqués dans l'adaptation au changement climatique »*, affirme Amandine Cornille. La chercheuse précise toutefois que la génétique n'explique pas tout : certains arbres ayant les mêmes gènes ne réagiront pas de la même manière ; c'est leur plasticité, autrement dit leur capacité individuelle à s'adapter, comme nous, êtres humains, qui entre alors en jeu. Autant de paramètres qui méritent encore d'être étudiés.

Dans le verger de Saclay, Mathieu Brisson et Maxime Criado terminent leurs mesures, après plusieurs jours à manipuler les branches et les feuilles de leur objet d'étude. La suite de leur travail se passe en laboratoire, ou devant l'ordinateur, pour exploiter les milliers de données enregistrées. À l'heure où vos pommiers se chargent de fruits croquants ou farineux, acides ou sucrés, verts, jaunes ou rouges, les petites pommes sauvages du verger conservatoire de Saclay renferment de précieuses informations pour vos futurs jus, compotes, ou tartes.

Camille Jourdan

Photos : Éléonore Henry de Frahan/Argos pour Sciences et Avenir

M. CRIADO

« En combinant les données climatiques et génétiques, nous pouvons prédire l'adaptation de chaque verger à son nouvel environnement »

Maxime Criado, doctorant à l'université Paris-Saclay

PROJETS DE RECHERCHE

Pêches, abricots, vignes sauvages : il n'y a pas que les pommes !

Le pommier sauvage n'est pas le seul « ancêtre » de nos arbres fruitiers qui intéresse les chercheurs. Si les vergers de *Malus sylvestris* sont sans doute les plus étendus aujourd'hui, des « collections vivantes » d'autres espèces d'apparentés sauvages sont constituées ailleurs en France et hors de nos frontières : oliviers, pêchers, abricotiers, pruniers, vignes… *« Aujourd'hui, presque tous les projets de recherche sur l'amélioration ou la diversification retournent voir ce qu'il se passe dans la diversité sauvage »*, observe Amandine Cornille, à l'origine du verger conservatoire de Saclay. L'intérêt de ces espèces sauvages ? Elles ont traversé les millénaires et ont résisté à plusieurs vagues de changement climatique, et renferment potentiellement dans leur patrimoine génétique des solutions pour préserver ces fruits face à la hausse des températures, aux sécheresses ou encore aux gels tardifs. La multiplication des espèces étudiées permettra également de comparer les comportements de fruitiers sauvages proches, comme le poirier et le pommier, ou le pêcher et l'abricotier.

Traitements, test, prévention

Alzheimer : l'espoir est relancé

La lutte contre cette maladie neurodégénérative entre enfin dans une ère thérapeutique. Deux nouveaux médicaments permettent en effet de ralentir le déclin cognitif. Le diagnostic devient aussi plus rapide grâce à un test sanguin. Mais la prévention reste primordiale, en identifiant les facteurs de risque.

Dossier réalisé par
Nicolas Gutierrez C.,
Hugo Jalinière et Coralie Lemke

MÉDICAMENTS
Les premiers traitements changent la donne p. 50

ENTRETIEN
Maï Panchal, directrice générale de la fondation Vaincre Alzheimer p. 54

INNOVATION
Un test sanguin facilite le diagnostic p. 56

PRÉVENTION
Une priorité de santé publique p. 59

REPORTAGE
Dans les Landes, ce village où l'on oublie sa maladie p. 64

THANASIS ZOVOILIS/GETTY IMAGES

Les premiers traitements changent la donne

Alors que la recherche a longtemps été tenue en échec, l'autorisation des premiers médicaments à même de contrer l'évolution de la maladie d'Alzheimer a relancé toutes les attentes.

Reconnaissons-le : en vingt-cinq ans, la maladie d'Alzheimer est la pathologie pour laquelle la recherche médicale a enregistré le plus haut taux d'échec. En 2014, une équipe américaine avait calculé que 99,6 % des quelque 500 essais cliniques menés depuis 2002 s'étaient soldés par un abandon de la molécule testée. Seule la mémantine (Ebixa) avait émergé en 2003, rejoignant les trois autres molécules faisant office de « traitements symptomatiques » : le donépézil (Aricept), la rivastigmine (Exelon) et la galantamine (Reminyl). En jouant sur les mécanismes de la neurotransmission, ils étaient censés ralentir les symptômes cognitifs de la maladie. Mais aucun ne ciblait les causes de celle-ci. Et depuis, rien. Ou pire, les premiers anticorps — aducanumab, ganténérumab, crénézumab — montrant enfin un effet sur les lésions cérébrales des patients entre 2019 et 2022 — n'offraient pas d'effet significatif contre leur déclin cognitif. Jusqu'à ce qu'apparaisse le lécanémab. Validé en 2023 aux États-Unis, puis cette année en Europe, il redonne un extraordinaire élan d'espoir. *« C'est une grande avancée,* se réjouit Remy Genthon, directeur scientifique de la fondation Recherche Alzheimer. *Pour la première fois, il existe un traitement qui agit directement sur une cause identifiée de la maladie. C'est ce qu'on appelle un "disease modifier"* [modificateur de la maladie]*, il affecte l'évolution de celle-ci.* » Dans la foulée, un deuxième anticorps aux résultats similaires, le donanémab du laboratoire Eli Lilly, a été autorisé en 2024 aux États-Unis, puis en juillet dernier par l'Union européenne. Ces traitements valident enfin l'hypothèse de la cascade amyloïde, selon laquelle la maladie est provoquée par l'accumulation d'une protéine dans le cerveau : la bêta-amyloïde. Celle-ci s'agrège en plaques dans le milieu cérébral, autour des neurones. Ces plaques amyloïdes seraient à l'origine du second biomarqueur clé de la neurodégénérescence dans Alzheimer : le dysfonctionnement d'une autre protéine, tau. Cela se produit cette fois à l'intérieur des axones, dont le cœur se désagrège, perturbant le passage de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre *(voir l'infographie ci-contre)*.

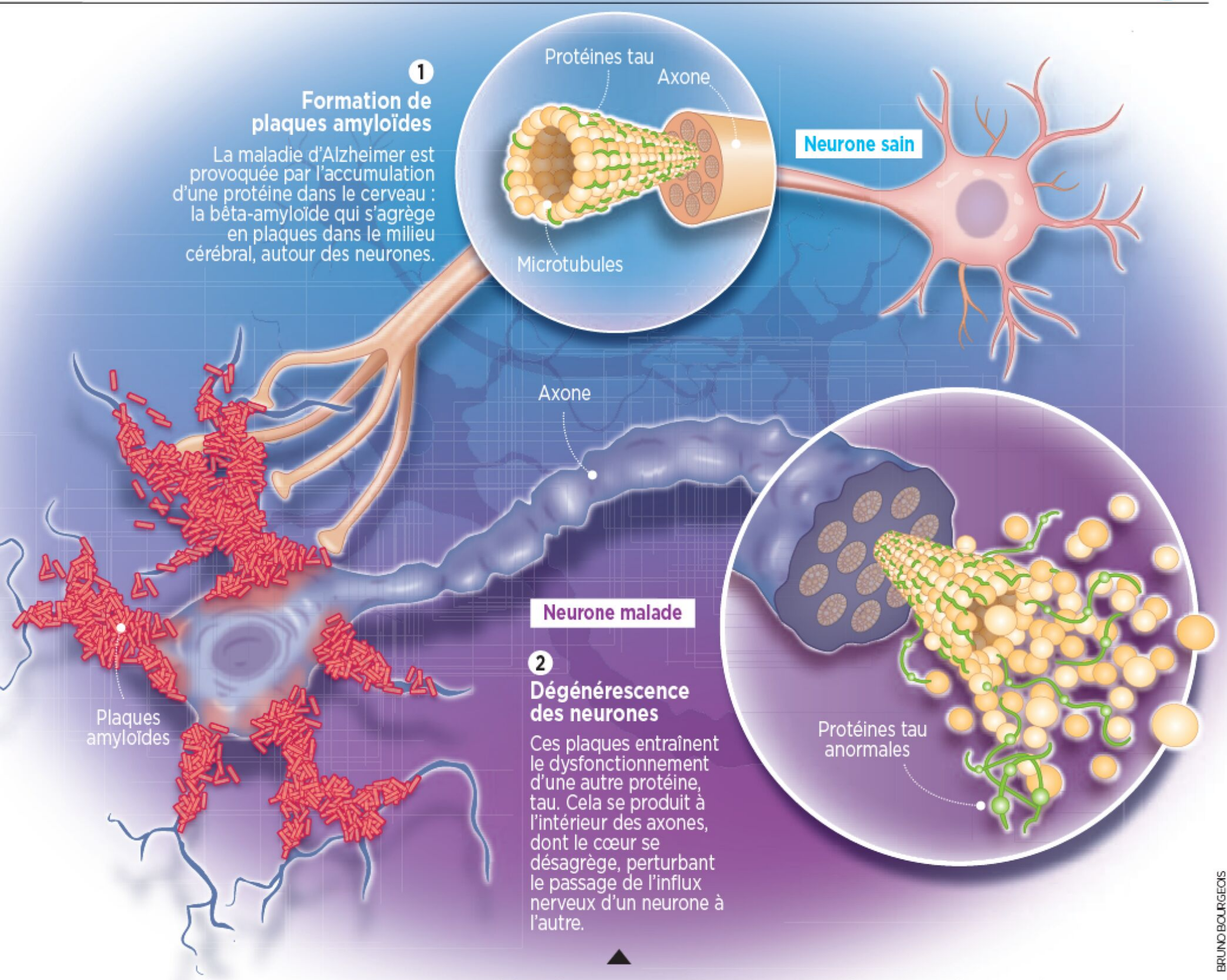
80 % des plaques amyloïdes nettoyées

Commercialisé sous le nom de Leqembi par le laboratoire japonais Eisai, le lécanémab n'est rien de moins que le premier traitement à ralentir la maladie. Pourtant, il a dû dans un premier temps faire face à un refus de l'Agence européenne du médicament (EMA), en raison, surtout, d'un risque d'effets indésirables potentiellement sérieux : les micro-hémorragies et œdèmes cérébraux, regroupés sous le terme d'Aria. *« En nettoyant les plaques amyloïdes proches de vaisseaux sanguins, l'anticorps est susceptible de*

FONDATION RECHERCHE ALZHEIMER

« Pour la première fois, il existe un traitement qui agit directement sur une cause identifiée de la maladie »

Remy Genthon, directeur scientifique de la fondation Recherche Alzheimer

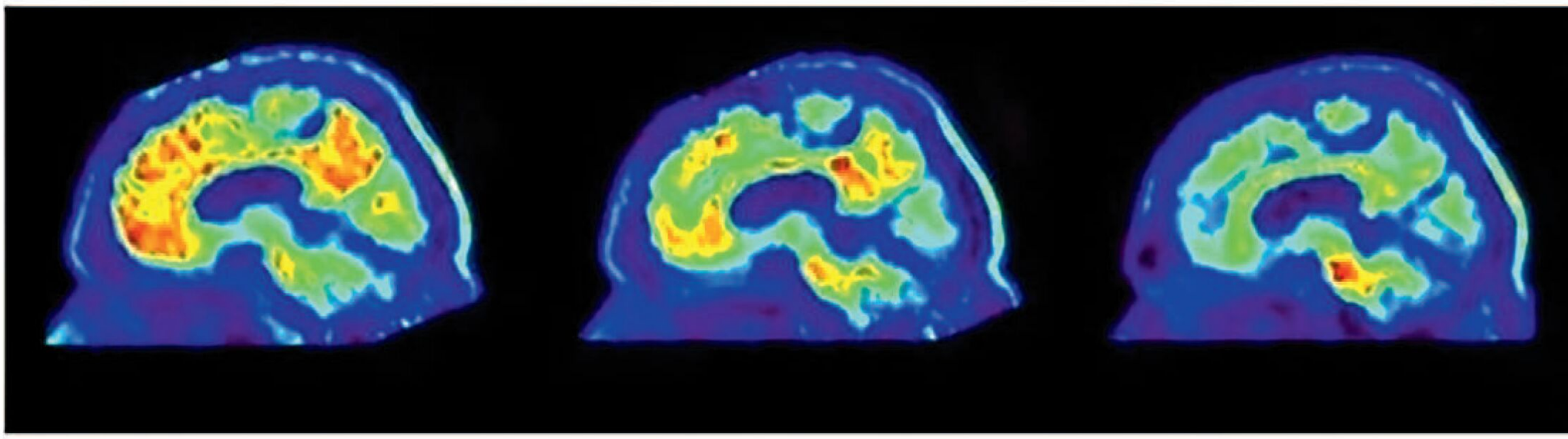


Les deux facteurs déclencheurs de la maladie se succèdent dans ce qu'on appelle l'hypothèse de la « cascade amyloïde » : l'accumulation de plaques amyloïdes dans le cerveau entraîne celle de protéines tau anormales, provoquant la dégénérescence.

fragiliser ces derniers, explique Marion Lévy, directrice scientifique de la fondation Vaincre Alzheimer. *Mais les cas graves ne surviennent que dans moins de 1% des cas. Le plus souvent, ils sont donc asymptomatiques.* » Pour obtenir un avis favorable de l'EMA, l'indication a — hélas — dû être resserrée en excluant les personnes porteuses du gène APOE-4, plus susceptibles aux Aria. Or ce sont celles qui présentent une prédisposition génétique importante à la maladie (posséder une copie de ce gène multiplie le risque d'Alzheimer par trois, et deux copies par huit à douze…). Autre condition pour l'approbation en Europe : une surveillance étroite des Aria le premier trimestre avec des IRM mensuelles.

Comme le médicament est indiqué à un stade débutant de la maladie, il ne devrait concerner que peu de personnes. Combien ? *« C'est difficile à évaluer, ce ne sera pas 10 % ni 0,5 %. En discutant avec les académiques et les industriels, cela concernerait 2 à 3 % des patients vus en Centre mémoire de ressources et de recherche »*, estime Remy Genthon. Soit moins de 7000 personnes sur les 225 000 nouveaux cas diagnostiqués chaque année en France.

Un chiffre qui pourrait néanmoins être amélioré avec un diagnostic plus rapide. *« L'espoir apporté par ces anticorps n'est pas tout à fait dissociable d'une accélération du diagnostic, portée notamment par l'autorisation récente aux États-Unis du premier test sanguin de la maladie »*, ajoute le neurologue *(lire p. 56)*. De fait, plus la maladie est prise à un stade précoce, plus le ralentissement du déclin cognitif serait efficace. *« En effet, plus l'Alzheimer évolue dans le temps, plus la physiopathologie se complexifie, avec des facteurs qui s'ajoutent les uns aux autres. Ça devient quelque chose d'un peu inextricable. Alors que si on prend à la racine en ciblant l'amyloïde très tôt, on pourrait en théorie arrêter tout le processus.* » À ce jour, sur la base des essais avec un suivi sur dix-huit mois, le lécanémab peut se targuer de nettoyer jusqu'à 80 % des plaques amyloïdes dans le cerveau. Un effet majeur qui ne se traduit toutefois sur le plan clinique que par un ralen-



ELI LILLY AND COMPANY

tissement modeste du déclin cognitif de 27 %. Concrètement, les patients ont gagné 0,45 point sur les 18 que compte le score CDR, qui évalue l'état cognitif sur plusieurs critères (mémoire, orientation, résolution de problèmes…). *« Cela représente quelques mois de gagnés sur l'évolution de la maladie. Pour des patients qui jusqu'ici n'avaient accès à aucun traitement, c'est énorme,* insiste Marion Lévy. *Et porteur d'espoir, car l'objectif est de pouvoir combiner différentes molécules pour arrêter complètement la maladie. Or, sans cette première autorisation, cela aurait été beaucoup plus compliqué, en Europe en tout cas, de poursuivre des recherches. »*
« Bien sûr, on espère toujours mieux, reprend Remy Genthon, *mais le suivi des patients au-delà des dix-huit mois laisse à penser qu'à long terme, ce gain sur le déclin cognitif s'accroît. On pourrait vraiment arriver à gagner des années. Quelqu'un qui a 70 ou 75 ans et qui en est au début de la maladie, si on lui donne trois à cinq ans de mieux, cela change beaucoup de choses : il pourra reconnaître ses petits-enfants et communiquer avec eux plus longtemps.* » Du fait de la cascade amyloïde, la maladie aurait, en effet, une certaine forme d'inertie, se poursuivant un peu malgré le nettoyage des plaques. Ainsi, après la grande dépression des années 2020-2023, la recherche retrouve espoir. Et les investissements des laboratoires pharmaceutiques qui menaçaient de se tarir reprennent. La course au traitement est totalement relancée. Ne serait-ce que pour améliorer l'effet et l'administration de ces deux anticorps. Le donanémab ne requiert qu'une seule perfusion par mois, quand deux sont nécessaires pour le lécanémab. Lequel pourrait bientôt être disponible en administration sous-cutanée…

Signe des temps, le laboratoire français Sanofi a racheté en mai pour près de 500 millions de dollars la biotech américaine Virgil Neuroscience. Celle-ci avait attiré l'attention avec des résultats prometteurs en essai de phase I pour sa molécule, VG-3927, qui tente d'exploiter les cellules immunitaires du système nerveux central, la microglie, pour réduire à la fois la présence de la bêta-amyloïde et de la protéine tau anormale.

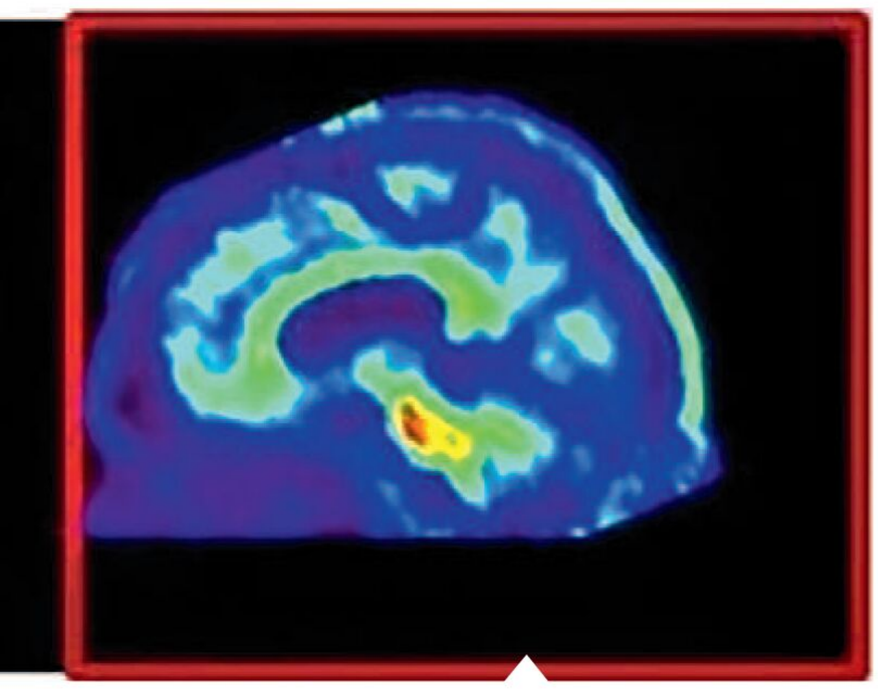
Franchir plus facilement la barrière hémato-encéphalique

De son côté, le laboratoire Roche a annoncé l'entrée en phase III de son trontinémab, qui a montré une action plus rapide sur les plaques amyloïdes. Cet anticorps a la particularité d'être conçu avec une technologie de « navette cérébrale », permettant de mieux franchir la barrière hémato-encéphalique qui filtre les molécules pénétrant le cerveau. L'obstacle de cette barrière sanguine est forcé par le lécanémab et le donanémab avec des doses plus fortes — l'idée étant qu'en donnant beaucoup, suffisamment d'anticorps franchiront la barrière et atteindront leur cible. Le trontinémab devrait, lui, permettre de mieux protéger les vaisseaux sanguins et occasionner moins d'effets indésirables Aria.
Avec la relance des investissements, d'autres pistes de recherche se dessinent. À commencer par celle de la protéine tau. Car les deux anticorps (lécanémab et donanémab) n'ont aucun effet direct sur elle. Or, l'hypothèse de la cascade

THÉRAPEUTIQUE

Les ondes gamma pour restaurer la mémoire

Dans notre cerveau, les neurones communiquent entre eux grâce à un signal électrique. S'ils s'activent de façon synchrone, ces oscillations électriques prennent la forme d'ondes traversant le cerveau. Or, les personnes souffrant d'Alzheimer montrent une réduction des ondes gamma, essentielles à la consolidation de la mémoire. Au Massachusetts Institute of Technology, aux États-Unis, l'équipe de la neuroscientifique Li-Huei Tsai a montré qu'en exposant les malades à des flashs lumineux de 40 hertz, leur cerveau répond en imitant cette activité électrique et en produisant lui-même cette fréquence correspondant aux ondes gamma. Au point de réussir à éliminer une partie des protéines bêta-amyloïdes et tau dans le cerveau. Un nouvel essai clinique est en cours chez des individus plus jeunes et sans symptômes, afin de voir si le traitement peut retarder l'apparition de la maladie. C. L.



Les plaques amyloïdes présentes dans le cerveau d'un patient aux premiers stades d'Alzheimer (à gauche) sont fortement réduites après 76 semaines de traitement par le donanémab (à droite).

amyloïde postule qu'une fois enclenchée, la dégénérescence neuronale amorcée par l'action des plaques amyloïdes sur les protéines tau se propage et ce, indépendamment de la présence des plaques. Il est possible que la neurodégénérescence provoquée par cette protéine dysfonctionnelle se propage, même après le retrait des plaques amyloïdes ; comme une pathologie devenue autonome, la taupathie. Des analyses de biomarqueurs ont d'ailleurs montré que la localisation et l'importance de la protéine tau sont plus étroitement corrélées à la sévérité des symptômes que celles des plaques bêta-amyloïdes. Tau devrait donc constituer une cible à part. Mais elle est plus difficile à atteindre car nichée au cœur des neurones. Jusqu'ici, les essais d'anticorps contre cette protéine ont tous échoué.

D'autres chercheurs imaginent agir également à l'autre bout de la cascade. Car les plaques amyloïdes se formeraient elles-mêmes en réponse à un événement plus précoce pouvant être ciblé : le dysfonctionnement des lysosomes, des organites dans les cellules chargés de la digestion des déchets intracellulaires. C'est là que la machine cérébrale se gripperait, permettant le relâchement de déchets, dont la bêta-amyloïde en excès. Pionnier de cette théorie, Ralph Nixon, neurobiologiste à l'université de New York, aux États-Unis, l'assurait dans la revue *Nature* il y a quelques mois : *« De plus en plus de personnes s'accordent à dire que la maladie débute à l'intérieur de la cellule, plutôt qu'à l'extérieur.* » Son équipe cherche ainsi à améliorer des médicaments déjà existants pour cibler les lysosomes afin de leur permettre d'atteindre leur cible dans le cerveau.

L'idéal restera quoi qu'il en soit de prendre la maladie au plus tôt. La protéine bêta-amyloïde commence à s'accumuler dans le cerveau quinze ans avant que n'apparaissent les premiers symptômes. Les essais Ahead et Trailblazer-Alz 3 testent les lécanémab et donanémab pour savoir s'ils peuvent prévenir l'apparition des symptômes chez les personnes ne présentant pas d'effets cognitifs, mais pour lesquelles la bêta-amyloïde a commencé à s'accumuler.

Pour l'heure, en France, médecins et patients attendent avec impatience que la Haute Autorité de santé se prononce sur le lécanémab et le donanémab. La révolution Alzheimer pourra ensuite commencer. ■ **H. J.**

FVA

« L'objectif est de pouvoir combiner différentes molécules pour arrêter complètement la maladie »

Marion Lévy, directrice scientifique de la fondation Vaincre Alzheimer

TECHNIQUE

La Chine mise sur la microchirurgie

Une méthode surprenante contre la maladie d'Alzheimer a été présentée par une équipe du centre de la santé mentale de Shanghai, en Chine : l'anastomose lymphoveineuse. Une procédure mini-invasive normalement utilisée pour traiter un lymphœdème, afin de décompresser les voies de drainage lymphatique obstruées. Les chercheurs expliquent que l'opération est récemment apparue comme un traitement potentiel de la maladie d'Alzheimer. Plus de 1000 interventions auraient eu lieu, par une sorte d'effet de mode autour de cas spectaculaires médiatisés. Mais sans réel suivi ni preuve du bénéfice annoncé. Cette technique qui consiste à passer par quatre mini-incisions dans le cou a été proposée pour améliorer le drainage des vaisseaux lymphatiques cervicaux bilatéraux. Le système lymphatique est en effet une voie essentielle au nettoyage du milieu cérébral, et son mauvais fonctionnement a déjà pu être associé à Alzheimer. *« C'est loin d'être une mauvaise idée »*, reconnaît Remy Genthon, directeur de la fondation Recherche Alzheimer. Encore faudrait-il qu'une étude soit menée correctement pour en évaluer la portée clinique. **H. J.**

MAÏ PANCHAL
DIRECTRICE GÉNÉRALE DE LA FONDATION VAINCRE ALZHEIMER

« On pourra faire d'Alzheimer une maladie chronique, à l'image du sida »

À l'approche de la journée mondiale contre la maladie, le 21 septembre, l'ancienne chercheuse, désormais directrice générale de la fondation Vaincre Alzheimer, aide à imaginer ce que les récents succès thérapeutique et diagnostique vont vraiment changer.

Une période de doute s'était-elle emparée de la communauté scientifique après avoir été mise si longtemps en échec ?
Il y a eu beaucoup d'échecs et certains ont douté. Mais, à mon sens, il n'y a pas eu de si grande remise en cause des cibles connues de la maladie — les protéines bêta-amyloïde et tau. Car on a très vite su expliquer les échecs principaux des quatre anticorps testés entre 2010 et 2020 : bapineuzumab, ponézumab, crénézumab et solanézumab.

Pourquoi tant d'échecs, alors ?
Parce que nous n'avions pas les bons patients ! Il se trouve que c'est dans ce laps de temps que s'est vraiment développé le diagnostic de la maladie. Ce n'est qu'entre 2010 et 2016 qu'arrivent la détection par ponction lombaire des biomarqueurs amyloïde et tau dans le liquide céphalo-rachidien, puis l'imagerie TEP qui permet d'observer la densité des plaques dans le cerveau. Ce n'est que peu à peu qu'on découvre la phase préclinique silencieuse d'Alzheimer, dont les lésions cérébrales commencent à apparaître quinze à vingt ans avant les premiers symptômes. Ainsi, au moment où sont testées ces quatre immunothérapies passives de 2010 à 2020, soit les patients étaient à un stade trop avancé, soit ils n'avaient même pas de maladie d'Alzheimer. Ça ne pouvait pas fonctionner.

BIO EXPRESS

- **1980** Naissance.
- **2004** Thèse de biochimie à l'université Pierre-et-Marie-Curie.
- **2014** Directrice scientifique de la fondation Vaincre Alzheimer.
- **2022** Directrice générale.

Et maintenant, oui ?
Les essais conduits par la suite sur le lécanémab et le donanémab ont obtenu des résultats importants parce qu'ils ont pu cibler des patients au tout début de la maladie, avec des troubles cognitifs légers. Avant, on nettoyait les plaques mais il y avait déjà trop de dégâts neuronaux pour obtenir une amélioration cognitive. Certes, le bénéfice clinique reste modeste, mais ce n'est que le début.

Quelles sont les perspectives de progrès désormais ?
Outre l'amélioration du bénéfice-risque de ces premiers anticorps pour réduire les risques d'effets indésirables, il faut voir le lécanémab et le donanémab comme la première génération d'immunothérapie ; d'autres suivront. Car plus l'action anti-amyloïde est rapide, plus le gain cognitif est important. Mais il faudra surtout un jour ou l'autre obtenir des résultats sur d'autres cibles, notamment la protéine tau, dont l'action est majeure dans la neurodégénérescence. Le problème est qu'elle est plus difficile à atteindre. Enfin, je crois beaucoup à la piste de la neuro-inflammation. Nous qui avons beaucoup financé la recherche fondamentale sur ce plan ces dix dernières années, voyons les essais cliniques se multiplier. Aujourd'hui, sur 180 essais en cours, il y en a presque autant qui concernent l'amyloïde que la neuro-inflammation. C'est vraiment nouveau.

PATRICE NORMAND / LEEXTRA POUR SCIENCES ET AVENIR

Maï Panchal est directrice générale de la fondation Vaincre Alzheimer.
Créée en 2005, la fondation a pour mission le financement de projets de recherche sur les maladies neurocognitives grâce aux dons privés qu'elle récolte. Une dizaine de projets sont sélectionnés chaque année pour leur excellence scientifique, essentiellement en France.

En quoi cela consiste précisément ?
Il s'agit d'intervenir sur le système immunitaire du cerveau composé de cellules gliales spécialisées, notamment la microglie. Lorsque l'amyloïde s'agrège, cette microglie s'active pour nettoyer les plaques. Sauf que ces cellules se suractivent et provoquent une inflammation du cerveau qui participe de la maladie. L'idée est de trouver des molécules permettant de réguler l'activité immunitaire cérébrale. C'est un axe essentiel.

En attendant, du fait de critères larges d'exclusion à l'indication du lécanémab, peu de malades seraient concernés s'il était bien mis sur le marché en France. Comment accroître le nombre de patients éligibles ?
Il va falloir beaucoup fluidifier le parcours diagnostique en amont pour identifier le plus de patients au stade débutant de la maladie, principal critère pour recevoir le traitement. Car dix mois d'attente pour une consultation en CM2R (Centre mémoire de ressources et de recherche) suffisent à passer du stade précoce au stade modéré… Mais l'arrivée des tests sanguins va améliorer les choses, notamment celui récemment autorisé aux États-Unis. En France, ils sont déjà utilisés par les CM2R dans le cadre de protocoles de recherche.
Mais il faudra aussi permettre aux médecins généralistes de repérer une plainte cognitive. Beaucoup d'outils numériques sont développés dans ce sens. Comme l'application MemScreen, qui permet aux généralistes de faire passer à leurs patients l'équivalent du test MMSE, qui fait référence dans l'évaluation neurocognitive. D'autres outils numériques peuvent même être réalisés à domicile, comme l'application Santé cerveau qui compile une série de tests neuropsychologiques pour détecter de premiers signes.

Les proches peuvent-ils aussi être des vigies du quotidien ?
Tout à fait, certains signaux faibles doivent alerter. Les troubles de la mémoire récente constituent le cas le plus typique : oubli d'un rendez-vous, d'un événement familial récent, etc. Mais beaucoup d'autres signes atypiques, souvent minorés, sont à retenir, même sans troubles de la mémoire. Cela peut être des problèmes de langage, d'élocution (ne pas trouver ses mots), ou de capacité à s'orienter en voiture ou à lire une carte. Des petites choses souvent mises sur le compte de la fatigue, qui doivent pourtant alerter l'entourage. De la même façon, un changement de personnalité est un signal important. Un quart à un tiers des malades d'Alzheimer présentent dans un premier temps un tableau dépressif qui peut être confondu avec une dépression.

Un message important à faire passer pour la journée mondiale Alzheimer le 21 septembre ?
Près d'un cas sur deux pourrait être évité grâce à la prévention des facteurs de risque modifiables *(lire p. 59)*. C'est le troisième axe majeur avec le diagnostic et la recherche de traitements. Ensuite, je suis convaincue qu'on pourra à terme faire d'Alzheimer une maladie chronique à l'image du sida, grâce à des multithérapies agissant simultanément sur les différentes cibles. De façon à stopper le déclin cognitif. Enfin, rappelons que la recherche publique manque de moyens. Grâce aux associations comme la Fondation Vaincre Alzheimer, les chercheurs peuvent avancer vers de nouveaux traitements. Mais sans la générosité du public, rien n'est possible. ■

Propos recueillis par H. J.

Un test sanguin facilite le diagnostic

Tout juste autorisé aux États-Unis, un premier test sanguin détecte la quantité de deux biomarqueurs dans le plasma. Il permet ainsi d'éviter la ponction lombaire, seul outil diagnostic fiable jusqu'à maintenant.

Tests de la mémoire, imagerie médicale et ponction lombaire… À la suite de l'apparition de troubles cognitifs, il faut plusieurs examens pour diagnostiquer la maladie d'Alzheimer. Après les tests cognitifs, l'imagerie médicale (TEP-scan) est nécessaire pour observer l'atrophie cérébrale causée par la maladie sur le cerveau. En complément, le prélèvement de liquide céphalo-rachidien, grâce à une ponction lombaire entre les vertèbres, était jusque-là incontournable dans le diagnostic. Lui seul permettait de doser la présence des biomarqueurs spécifiques d'Alzheimer. Cet examen a beau être pratiqué en routine, *« il effraie bon nombre de patients, dont certains refusent même de s'y soumettre »*, constate le Pr Philippe Amouyel, directeur de la Fondation Alzheimer. Mais c'est une petite révolution qui se dessine pour le diagnostic de la maladie : cet examen sera bientôt remplacé par un simple test sanguin — bien moins invasif que la ponction lombaire tant redoutée. Le premier du genre vient en effet d'être autorisé aux États-Unis par la Food and drug administration (FDA).

Ce nouveau test part à la recherche des deux mêmes biomarqueurs que ceux retrouvés dans le liquide céphalo-rachidien. La protéine bêta-amyloïde, d'abord, qui s'accumule sous forme de plaques dans le cerveau et empêche le bon fonctionnement des neurones. Ensuite, la protéine tau qui, elle, s'agrège à l'intérieur des neurones et fibrille (elle « tournicote ») jusqu'à les empêcher de communiquer. *« Lorsqu'un patient est atteint de la maladie, son cerveau en présente de grandes quantités. On les dose facilement dans le liquide céphalo-rachidien »*, explique Philippe Amouyel. Mais des quantités infinitésimales de bêta-amyloïde et de tau ont aussi été retrouvées dans le sang, sans qu'on ne comprenne vraiment comment. *« L'hypothèse actuelle est que les protéines passent d'abord dans le liquide céphalo-rachidien et sont ensuite drainées dans le sang au moment de sa réabsorption dans la circulation sanguine »*, souligne le Pr Markus Otto, neurologue à l'université Martin-Luther de Halle-Wittenberg, en Allemagne, et spécialiste de la protéine tau. Une fois le dosage établi, le test n'a pas vocation à donner une réponse de type « oui ou non », comme le ferait un test de grossesse, par exemple. *« Les biomarqueurs augmentent au fur et à mesure que la maladie progresse. Mais la maladie ne se "déclenche" pas automatiquement à partir d'un certain taux »*, explique le neurologue Sebastian Palmqvist, maître de conférences à l'université de Lund, en Suède, et auteur de plusieurs études sur la protéine tau.

Des examens complémentaires doivent l'accompagner

Dans le cas du Lumipulse, le test autorisé par la FDA, c'est le ratio entre les concentrations de la protéine bêta-amyloïde 42 et de la protéine p-tau 217, mesurées dans le plasma sanguin, qui détermine si des plaques de protéines ont envahi le cerveau ou non. Pourquoi plutôt le ratio entre les deux protéines que simplement mesurer leur quantité ? *« La mesure des marqueurs sanguins est toujours liée à des biais,*

FONDATION ALZHEIMER

« Ces tests n'ont pas vocation à prédire si un individu risque de développer la maladie dans sa vie »

Philippe Amouyel, directeur de la Fondation Alzheimer

BRUNO / IMAGE POINTFR / BSIP

Moins invasif que la ponction lombaire, le test Lumipulse actuellement autorisé aux États-Unis mesure la présence des protéines bêta-amyloïde 42 et p-tau 217 dans le sang.

explique le Pr Sylvain Lehmann, directeur de l'Institut des neurosciences de Montpellier. *L'heure du prélèvement peut jouer un rôle. Une fonction rénale altérée* [des problèmes aux reins] *peut aussi modifier les valeurs. Tout cela augmente de façon artificielle les niveaux détectés. Or, si l'un des facteurs est un peu augmenté par un biais, l'autre le sera aussi. Mais le ratio entre les deux reste inchangé.* » Cette valeur permet de réduire le nombre de cas indéterminés, qui restent dans une zone grise, et d'identifier plus facilement les individus qui ne sont pas atteints de la maladie. Reste que le test doit toujours être accompagné d'une interprétation clinique, avec des examens complémentaires.

D'autant que le Lumipulse n'est pas infaillible. Plusieurs études montrent qu'il possède une sensibilité et une spécificité d'environ 90 % chacune. Cela signifie qu'il arrive à identifier correctement un malade dans 90 % des cas et à identifier une personne non malade dans 90 % des cas. Dans les cas restants, les patients sont diagnostiqués à tort avec la maladie d'Alzheimer ; ou le diagnostic les identifie comme sains alors qu'ils sont bien atteints. Dans les deux situations, l'erreur est lourde de conséquences. Aussi bien pour la personne non malade qui se sait « condamnée » que celle atteinte qui se pense hors de danger. Pourtant, Sylvain Lehmann reste enthousiaste. *« Oui, cela veut dire qu'il y a une personne sur dix chez qui on se trompe. C'est bien pour cela que ce test ne doit pas être utilisé tout seul, mais chez des gens déjà suspects. Si on l'utilise en population générale, on va se retrouver avec un nombre de faux étourdissant. Il n'est donc pas question de l'utiliser en dépistage.* » Mais ce nouvel outil est plus que bienvenu dans la confirmation du diagnostic et la recherche contre Alzheimer. *« C'est déjà extraordinaire. On se dit qu'on ne pourra pas avoir mieux. Même en anatomopathologie, lorsqu'on regarde directement le cerveau des patients au microscope, on n'arrive pas à un résultat parfait.* »

Priorité est donnée aux malades de plus de 65 ans

Au moment de son autorisation, la FDA elle-même a prévenu : le Lumipulse n'est pas destiné à devenir un test de dépistage massif ni un test de diagnostic à utiliser seul. *« Il s'agit d'une aide au diagnostic lorsque la maladie est déjà installée. Ces tests n'ont pas vocation à prédire si un individu risque de développer la maladie dans sa vie* », précise Philippe Amouyel. Il s'adresse en priorité aux patients présentant déjà des symptômes et âgés de plus de 65 ans. *« Ces tests ne donnent pas une réponse absolue. Ils ne fonctionnent pas très bien sur des patients dont la démence commence tôt dans la vie ou sur des individus jeunes avec des troubles cognitifs légers. Et dans un nombre important de cas, le résultat qu'il donne ne permet pas de tirer de conclusions* », prévient Pedro Rosa-Neto, neurologue à l'université McGill à Montréal, au Canada, dont les travaux montrent que l'efficacité du test dépend de l'âge et de l'intensité des symptômes du patient chez lequel il est utilisé. À la FDA, la validation du

Lumipulse est passée par une procédure spéciale qui permet d'autoriser un dispositif médical lorsqu'il démontre des performances équivalentes à celles d'un test déjà approuvé. En l'occurrence, le test sanguin montre des résultats comparables — et non supérieurs — à ceux obtenus par des analyses du liquide céphalo-rachidien. Mais il sera bien plus simple à mettre en œuvre et devrait donc accélérer la prise en charge.

L'autorisation semble arriver à point nommé, peu après l'approbation de médicaments contre la maladie en juillet 2023 aux États-Unis, puis en 2024 et 2025 par l'Agence européenne du médicament (*lire p. 50*). Sans eux, les tests diagnostiques auraient soulevé un important problème éthique. « *Avant que nous ayons ces traitements, il était un peu bancal de diagnostiquer les gens et de leur dire que rien ne peut être fait pour eux. Avec ces thérapies qui réduisent la plaque dans le cerveau et ralentissent le déclin cognitif, on entre dans l'ère thérapeutique* », estime le Pr Robert Rissman, neuroscientifique à l'Institut de recherche thérapeutique sur la maladie d'Alzheimer de l'université de Californie à San Diego, aux États-Unis.

Dans la course contre la maladie d'Alzheimer, le temps semble désormais être devenu un facteur clé. Les études ont montré que les plaques bêta-amyloïdes commencent à s'installer quinze ans avant l'apparition des premiers symptômes. L'arrivée de tests simples et efficaces laisse espérer des diagnostics bien plus précoces. Mais seulement si une thérapie peut être proposée aux patients. « *Pour le moment, il n'est pas question de diagnostiquer Alzheimer avant l'apparition des symptômes. Mais d'ici un à deux ans, nous saurons si les molécules désormais disponibles sont aussi efficaces chez les patients qui ne présentent pas encore de signes cliniques. Si les résultats sont positifs, alors nous pourrons commencer à tester les gens avant qu'ils ne perdent la mémoire* », espère Sebastian Palmqvist.

Seuls quelques laboratoires les utilisent en France

Reste à savoir quand l'Europe, et *a fortiori* la France, pourra officiellement sauter dans le train en marche. Pour le moment, ce test n'est utilisé que dans une poignée d'infrastructures, comme à Paris, Bordeaux, Lille ou Lyon. « *Cela demande des laboratoires équipés de machines ultraspécialisées, utilisées uniquement dans des centres experts* », précise Philippe Amouyel. Au CHU de Montpellier, Sylvain Lehmann utilise ces tests depuis septembre 2024. « *L'argent reste l'un des facteurs limitants. Il faut acheter des consommables, l'acte n'est pas remboursé et aucune recommandation sur le parcours de soins n'a été émise pour le moment* », regrette le neurologue. Contacté par *Sciences et Avenir*, Fujirebio, le laboratoire qui commercialise le Lumipulse, n'a pas souhaité révéler si une demande d'autorisation avait déjà été déposée auprès de l'Agence européenne du médicament. ■

C. L.

USC

TROIS QUESTIONS À

ROBERT RISSMAN

NEUROSCIENTIFIQUE À L'UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN DIEGO (ÉTATS-UNIS), PRIX ALZHEIMER 2024

« Ces tests aident au recrutement de participants pour nos recherches »

L'introduction des tests sanguins a-t-elle changé quelque chose à la recherche contre Alzheimer ?
Nous avons eu recours à bon nombre de ponctions lombaires par le passé. On peut dire que les participants n'étaient pas enchantés. Certains ont même refusé par crainte, d'autres n'habitaient pas assez près d'une structure capable d'en faire. Depuis que nous utilisons des tests sanguins, il nous est beaucoup plus facile de recruter des participants aux essais.

Avec quels résultats ?
La mise en place de tests sanguins a considérablement facilité notre travail. Pour recruter des participants, nous avons commencé par nous appuyer sur des TEP-scan. Plus de 70 % de candidats potentiels étaient écartés après l'examen, en raison de quantités insuffisantes de bêta-amyloïde dans leur cerveau. Depuis l'introduction des tests sanguins comme étape de présélection, moins de 30 % des personnes passant un scanner TEP ont été jugées inéligibles.

Quels profils de patients utilisez-vous ?
Nous dépistons de jeunes personnes saines et aux capacités cognitives normales avec ces tests sanguins, afin de savoir si elles commencent à accumuler des plaques amyloïdes dans le cerveau. Nous aimerions voir si, en limitant le développement de la plaque, le déclin cognitif peut être évité. Cela représente un espoir de freiner la maladie le plus tôt possible chez les patients. ■

Propos recueillis par C. L.

WILLING-HOLTZ/PLAINPICTURE

Au-delà de 50 ans, les personnes les plus sédentaires sont celles qui présentent un plus grand déclin cognitif, selon une étude. L'effet protecteur de l'activité physique sur la santé a été établi depuis longtemps par les chercheurs.

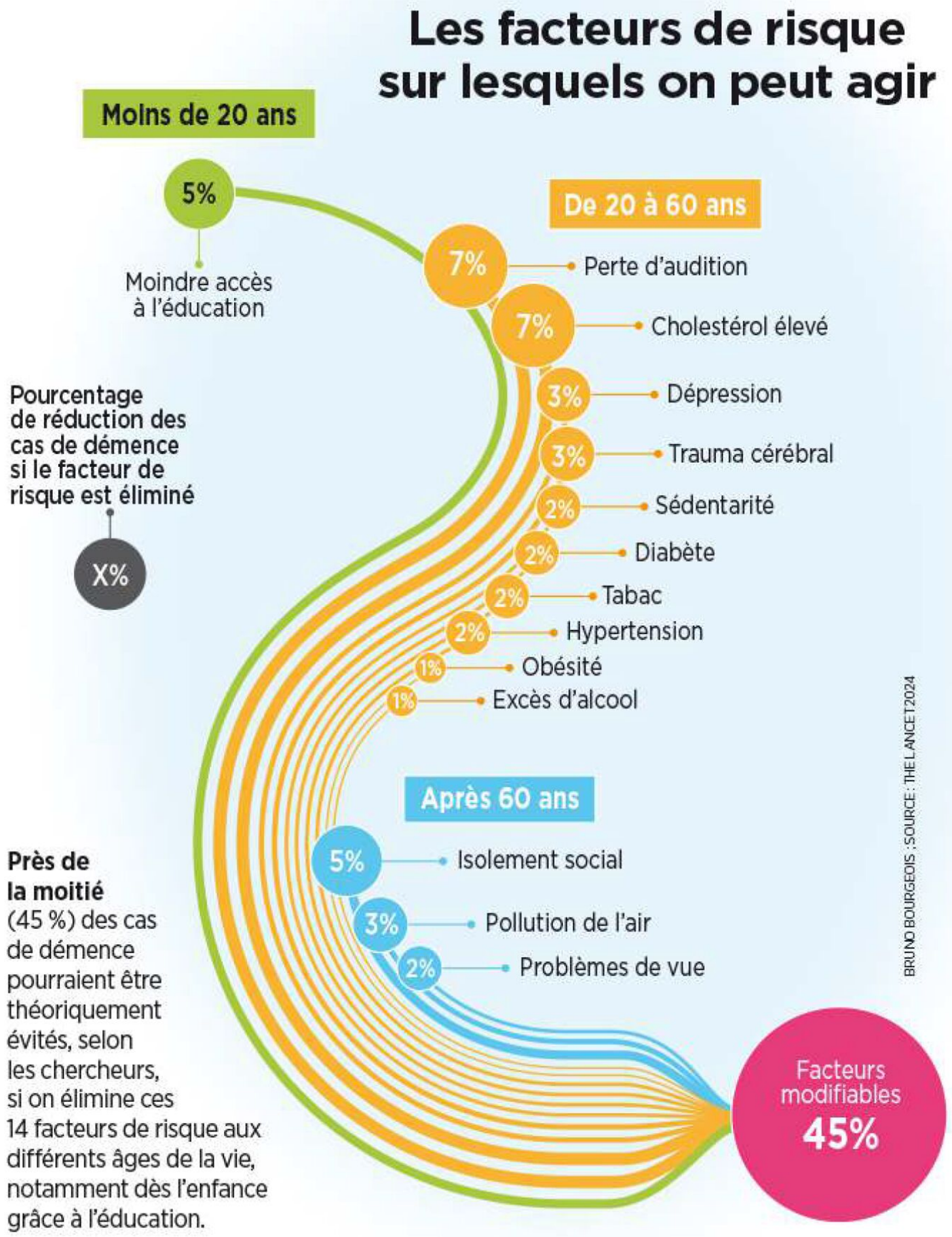
La prévention, une priorité de santé publique

Activité physique, alimentation… Les experts s'accordent sur l'importance de faire de la prévention afin de réduire le risque de développer la maladie d'Alzheimer. En agissant le plus tôt possible.

La maladie d'Alzheimer et les autres démences touchent environ 60 millions de personnes dans le monde, dont près d'un million en France. Des chiffres qui ne feront qu'augmenter en raison du vieillissement de la population. Cette progression très rapide représente une véritable bombe à retardement pour la santé publique. Heureusement, cette maladie n'est pas une fatalité et on peut la prévenir. Le dernier rapport de la Commission sur la démence du journal *The Lancet*, publié en août 2024, montre en effet que 45 % du risque de développer cette maladie dépend de facteurs sur lesquels on peut agir (*voir l'infographie p. 60*). *« On voyait la démence comme un train qui avance sur ses rails, imparable. Si notre mère ou notre père avait la maladie d'Alzheimer, on avait l'impression qu'on était les prochains et qu'on n'y pouvait rien. Mais la recherche nous montre que ce n'est pas le cas !* », explique Sanjula Singh, neurologue à l'hôpital

▸ général du Massachusetts et enseignante à la faculté de médecine de l'université Harvard, aux États-Unis.

Un de ces facteurs de risque modifiables est la sédentarité. *« Et pas seulement pour les démences ; il y a beaucoup de preuves scientifiques montrant que le manque d'activité physique augmente le risque de mortalité, toutes causes confondues, plus que l'obésité et l'alcool. Seul le tabac est plus dangereux que la sédentarité »*, rappelle Mark Febbraio, chercheur en physiologie à l'université Monash, en Australie, spécialisé dans l'effet de l'exercice sur la santé. Par exemple, une étude publiée en mai dans *Alzheimer's & Dementia* montre que les personnes de plus de 50 ans les plus sédentaires sont aussi celles qui présentent un plus grand déclin cognitif. Cet effet était encore plus important chez les personnes portant des mutations qui prédisposent à la maladie d'Alzheimer, montrant à quel point l'activité physique peut être protectrice. Une autre étude, publiée dans le même numéro, souligne que cette protection est particulièrement visible chez les personnes qui suivent les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), c'est-à-dire entre 150 et 300 minutes d'activité modérée par semaine (marcher, par exemple), ou entre 75 et 150 minutes d'activité intense (comme faire du vélo).



L'activité physique, même douce, ralentit le déclin

Cependant, peu est mieux que rien, et même les personnes qui font moins d'activité physique peuvent également être protégées, selon une étude publiée en avril dans *Alzheimer's & Dementia*. Dans celle-ci, des chercheurs de l'université de Californie à San Diego, aux États-Unis, ont suivi près de 300 seniors avec un début de perte cognitive (ce qui augmente le risque de développer une démence). Certains devaient pratiquer une activité physique intense, trois à quatre fois par semaine durant un an, alors que d'autres effectuaient seulement des activités douces, comme des étirements et des exercices d'équilibre. Les deux groupes présentaient moins de déclin cognitif que les seniors sédentaires, et moins de perte de volume cérébral. *« Il n'est pas nécessaire de faire du sport vigoureusement, on doit juste bouger le corps »*, confirme Mark Febbraio. *« Même une activité douce, comme marcher, améliore la circulation du sang et donc diminue le risque de neurodégénération »*, ajoute Judy Potashkin, experte des maladies neurodégénératives à l'université Rosalind-Franklin à Chicago, aux États-Unis.

En plus de cet effet bénéfique, l'activité physique améliore aussi le fonctionnement des systèmes immunitaire, digestif et nerveux, qui jouent tous un rôle dans la santé du cerveau. *« L'exercice diminue le risque de diabète de type 2, qui est un facteur aggravant pour la maladie d'Alzheimer, et diminue l'inflammation, qui participe aussi à la neurodégénération »*, abonde Judy Potashkin. Ses effets bénéfiques sont aussi directement observables au niveau du cerveau. Des études chez des modèles animaux montrent en effet une diminution de

l'accumulation de bêta-amyloïde et une augmentation de la génération de nouveaux neurones. De plus, l'exercice réduit le nombre de microglies, des cellules immunitaires du cerveau qui peuvent causer de l'inflammation. *« Cet effet protecteur de l'activité physique passe par plusieurs chemins, donc il sera très difficile de créer un jour une pilule qui puisse le remplacer* », conclut Mark Febbraio.

Une bonne alimentation améliore la cognition

Fort logiquement, on pourrait penser que faire travailler le cerveau serait aussi important pour prévenir les démences. Et quelques recherches vont dans ce sens, dont une étude italienne publiée en 2023 dans le *Journal of Alzheimer's Disease*, qui montre que les personnes qui ont l'habitude de jouer à des jeux tels que le go ou les échecs ont une meilleure cognition et une meilleure qualité de vie. Toutefois, il n'est pas encore sûr que cette corrélation reflète une quelconque causalité. *« Les premiers changements au niveau du cerveau peuvent commencer une vingtaine d'années avant de faire le diagnostic de démence, donc il est possible que cette période — nommée stade prodromal — entraîne déjà des modifications dans les habitudes, rendant par exemple plus difficile de jouer à ces jeux,* nuance Sanjula Singh. *Mais puisque le diagnostic est fait après ces changements comportementaux, on peut penser que la maladie en est la conséquence, alors que ça peut être l'inverse. C'est la même chose pour les relations sociales, peut-être que les gens commencent à s'isoler à cause de ces premiers changements dans le cerveau. Cette relation de causalité n'est pas encore une certitude.* »

En revanche, un facteur dont l'impact sur la santé du cerveau a été prouvé maintes fois est l'alimentation. Le régime méditerranéen, qui privilégie les fruits, les légumes, les légumineuses (haricots, lentilles, pois chiches…), l'huile d'olive et le poisson, est reconnu pour ses effets protecteurs sur la santé, y compris cérébrale. Une étude de l'université d'Hawaii, aux États-Unis, présentée en juin au congrès annuel de la Société américaine de nutrition, montre en effet que les personnes qui suivent ce régime ont un moindre risque de développer des démences. Réalisée sur près de 100 000 adultes (âgés de 45 à 75 ans) vivant aux États-Unis, elle montre que le risque de démence baisse de 9 % chez ceux qui privilégient ce régime alimentaire.

Combiner plusieurs facteurs modifiant le mode de vie

« Mais le mieux pour améliorer la cognition, ce n'est pas de faire seulement de l'activité physique, ou bien d'avoir une meilleure diète, mais de tout faire en même temps », rappelle Rafael de la Torre Fornell, chercheur à l'Institut de recherche Hospital del Mar à Barcelone, en Espagne. C'est la conclusion de l'essai clinique finlandais Finger, qui a étudié l'impact d'un changement de style de vie portant sur l'alimentation, l'acti-

HOSPITAL DEL MAR, BARCELONE

« Les personnes de niveau socio-économique plus bas ont un risque de démence trois fois plus élevé »

Rafael de la Torre Fornell, chercheur à l'Institut de recherche Hospital del Mar à Barcelone, en Espagne

THÉRAPEUTIQUE

Le GLP-1 à la rescousse ?

Les fameux analogues du GLP-1 (les sémaglutides, tels que Ozempic et Wegovy), développés contre le diabète et l'obésité, seraient aussi utiles pour éloigner les démences chez les personnes souffrant de diabète de type 2, selon une étude publiée en avril dans *Jama Neurology*. Les chercheurs de l'université de Floride, aux États-Unis ont analysé les données médicales de près de 100 000 patients de plus de 50 ans atteints de cette maladie, mais sans signe de démence. Après un suivi de neuf ans, ceux traités avec des sémaglutides présentaient un risque plus bas de développer la maladie d'Alzheimer ou d'autres démences, comparés aux patients traités avec des antidiabétiques plus classiques. C'était ainsi aussi pour les patients traités avec des gliflozines (qui réduisent la glycémie en favorisant l'évacuation du glucose par les urines).
Dans une deuxième étude, cette même équipe souligne que les patients diabétiques qui bénéficieraient le plus de cette protection des sémaglutides contre les démences sont ceux ayant aussi des maladies cardio-vasculaires ou des maladies neuro-vasculaires. Cela suggère que l'effet positif de ces médicaments passerait principalement par une protection des vaisseaux sanguins, qui pourrait améliorer l'oxygénation du cerveau.

vité physique et l'entraînement cognitif. Non seulement il n'y avait pas un déclin cognitif chez ces participants, mais au contraire, il y avait une amélioration de la cognition. Cette étude, publiée en 2018 dans *Alzheimer's & Dementia*, a été suivie par un réseau d'essais cliniques partout dans le monde, le World Wide Fingers. « *L'idée est d'adapter ces changements de style de vie à l'environnement socioculturel des patients, parce que je peux vous proposer de faire le régime méditerranéen à Barcelone, mais pas à Tokyo, par exemple* », explique-t-il. La version française de cet essai, MindAdmini (réalisé en France, Allemagne, Suède et Finlande et publiée en 2024 dans *Alzheimer's Research & Therapy*), confirme ces résultats : les seniors qui adoptent le régime méditerranéen, et qui en plus font de l'activité physique et des exercices de réflexion, montrent un moindre déclin cognitif.

Combinés, ces changements de mode de vie aident à prévenir la maladie d'Alzheimer et augmentent également l'espérance de vie. Une étude de l'université Rush à Chicago, aux États-Unis, publiée en 2022 dans le *British Medical Journal*, montre en effet que les seniors qui pratiquent une activité physique à raison de deux heures et demie par semaine, qui ne fument pas et boivent peu d'alcool, qui privilégient les régimes de type méditerranéen et qui exercent leur cerveau, en lisant ou avec des jeux de réflexion et en maintenant des relations sociales, ont un risque plus faible de démence et vivent en moyenne trois ans de plus pour les femmes et six ans de plus pour les hommes.

Cependant, ces modifications de style de vie ne sont pas possibles pour tous. « *Pour certains, leur corps ne leur permet pas de faire de l'activité physique, d'autres n'ont pas les moyens d'acheter de la nourriture saine, beaucoup plus chère que celle de mauvaise qualité* », souligne Sanjula Singh. Pour permettre à tous de prendre en main leur santé cérébrale selon leurs possibilités, elle a créé le Brain Care Score*, qui propose une liste de choses que l'on peut réaliser en fonction de son état de santé. « *On choisit les composants sur lesquels on peut agir et commencer ainsi à protéger son cerveau* », résume-t-elle.

Pour que ces modifications de style de vie soient efficaces, elles doivent se poursuivre sur le long terme, ce qui nécessite un accompagnement et un suivi régulier. Pour cela, plusieurs pays en Europe (dont la Suisse, la Suède et la Finlande) commencent à investir dans des centres consacrés à la prévention des maladies neurologiques, les Brain Health Services. « *Ces structures spécialisées prennent en charge les personnes qui sentent qu'elles commencent à avoir un déclin cognitif, pour leur permettre d'agir avant que la maladie ne soit déclarée,* explique Rafael de la Torre Fornell. *On évalue les risques et on leur fait des propositions d'interventions multimodales personnalisées. C'est moins onéreux que de laisser les gens sans aucun traitement en attendant que la maladie survienne.* » Malheureusement, la France est en retard sur ce volet prévention. 29 Centres mémoire de recherche et de ressources ont pour but de dépister la maladie d'Alzheimer le plus tôt possible, mais aucun véritable accompagnement n'est encore proposé pour prévenir la maladie, avant le diagnostic médical.

Le régime méditerranéen est reconnu pour ses effets protecteurs sur la santé, notamment cérébrale.

RÉMY CORTIN

Éviter les mauvaises habitudes dès l'adolescence

Pourtant, les experts s'accordent sur l'importance de faire de la prévention des maladies neurologiques une priorité de santé publique. Notamment pour y inclure les populations les plus vulnérables : « *Rappelons que les personnes de niveau socio-économique plus bas ont un risque de démence trois fois plus élevé* », alerte Rafael de la Torre Fornell. Et surtout, pour inciter tout un chacun à agir le plus tôt possible, car la plupart de risques modifiables émergent tôt : c'est par exemple à l'adolescence que l'on commence à fumer et qu'on acquiert d'autres mauvaises habitudes de vie, comme la consommation d'alcool et la sédentarité. Il n'est jamais trop tard, ni trop tôt, pour prévenir la maladie d'Alzheimer. ■ **N. G. C.**

* Disponible en anglais : sciav.fr/943scorecerveau

Un vaccin contre Alzheimer ?

Alors qu'un candidat ciblant les protéines tau a été testé avec succès chez des animaux, d'autres vaccins s'avèrent efficaces pour retarder la maladie.

LAURENT/GARNIER/BSIP

Le risque de développer une démence serait réduit de 20 % chez les seniors vaccinés contre le zona, selon une étude.

Après plusieurs tentatives non concluantes, le développement d'un vaccin pour prévenir la maladie d'Alzheimer est plus avancé que jamais. Un nouveau candidat a été testé aux États-Unis avec succès chez la souris et chez des primates, ouvrant la voie à des essais chez l'humain. Présenté en mars dans le journal *Alzheimer's & Dementia* par des chercheurs de l'université du Nouveau-Mexique, aux États-Unis, il cible une phosphorylation de la protéine tau, caractéristique de la maladie. C'est notamment à cause de ces phosphorylations que ces protéines s'agrègent entre elles et ne peuvent plus assurer leur rôle stabilisateur des neurones. Grâce au vaccin, le système immunitaire parvient à éliminer les protéines tau phosphorylées, sans attaquer les protéines saines.

Il a été testé d'abord chez des souris modifiées génétiquement pour développer des problèmes cognitifs comparables à ceux des humains atteints de la maladie d'Alzheimer. Grâce à ces piqûres, le nombre de protéines tau phosphorylées baissait significativement dans le cerveau des souris, qui de plus présentaient moins de neuroinflammation que les souris non vaccinées, améliorant leur mémoire. Puis, pour vérifier sa sûreté, il a été testé chez des macaques, beaucoup plus proches des humains que les souris. Là aussi, la production d'anticorps spécifiques était très élevée et perdurait ainsi durant au moins 49 semaines, entraînant une chute importante de la quantité de protéines tau anormales, mais ne causait pas d'effets secondaires graves. *« Maintenant que nous avons montré une bonne efficacité chez des primates non humains,* s'enthousiasme Kiran Bhaskar, auteur de l'étude, *je pense qu'on est beaucoup plus près d'un essai clinique.* »

Des vaccins ayant un effet plus large sur l'immunité

En attendant, il est important de noter que d'autres vaccins, ciblant d'autres maladies, semblent efficaces pour prévenir, ou du moins retarder, la maladie d'Alzheimer. C'est notamment le cas du vaccin contre le zona, infection virale provoquant une éruption cutanée douloureuse, causée par la réactivation du virus de la varicelle. Ce virus, contracté souvent durant l'enfance, reste latent dans les cellules nerveuses et se réveille chez les personnes âgées, profitant de leur système immunitaire affaibli. Une étude publiée en avril dans *Nature* par des chercheurs de l'université Stanford, aux États-Unis, montre que le risque de développer une démence est réduit d'environ 20 % chez les seniors vaccinés contre cette maladie par rapport aux non-vaccinés. Effet qui serait plus fort chez les femmes que chez les hommes. Cela semble aussi être le cas pour d'autres vaccins, par exemple celui contre la tuberculose.

Cette protection collatérale pourrait être due à un renforcement du système nerveux (en éliminant ces virus dormants) ainsi qu'à un effet plus large sur le système immunitaire, qui finirait par protéger contre plus de maladies que celle ciblée par un vaccin. Cette optimisation pourrait permettre au système immunitaire notamment d'activer le nettoyage dans le cerveau des peptides bêta-amyloïdes. Donc, en attendant un vrai vaccin contre Alzheimer, assurez-vous déjà d'être à jour dans votre calendrier vaccinal, cela pourrait aider ! ■ **N. G. C.**

Ce village où l'on oublie sa maladie

Cette structure inédite héberge 120 résidents à Dax dans les Landes. Le but est de permettre aux patients de vivre le plus normalement possible. Et les premiers résultats semblent encourageants : le déclin cognitif serait moins rapide que dans un Ehpad classique. Reportage.

La place principale brille sous le soleil landais. Les gens ont déserté le terrain de pétanque et le parc pour enfants pour s'abriter à l'ombre des arcades, où la vie s'agite. Au salon de coiffure, une dame se fait coiffer, un homme fait du vélo dans la salle de sport, deux femmes sortent de la supérette, tandis qu'un groupe est attablé au café du coin. Nous sommes à Dax, au Village landais Alzheimer Henri-Emmanuelli, où la vie suit son cours avec un semblant de normalité, malgré la maladie. Ouverte en 2020, cette alternative à l'Ehpad (établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes) accueille 120 résidents, répartis dans quatre quartiers entourant un étang verdoyant. L'une d'entre elles, Brigitte, 62 ans, m'invite dans sa maison, qu'elle partage avec six autres villageois : *« Je suis dans la maison 14, c'est très complet, très sympa »*, me dit-elle en me montrant la salle de jeux. Sa chambre est tapissée de photos de sa famille à La Rochelle, ainsi que de dessins et de textes : *« Mon havre de paix est l'écriture, l'aquarelle, le ping-pong, et bien sûr les jolis moments passés avec mes petits-fils pendant les vacances. »*

Dans ce premier — et pour l'instant unique — village Alzheimer français, le but est de permettre aux patients de vivre le plus normalement possible : *« L'idée, c'est d'offrir un cadre sécurisé mais qui permet aux personnes de se réapproprier leur vie au maximum de leurs capacités restantes »*, résume Mathilde Charon-Burnel, chargée des projets médico-sociaux au conseil départemental des Landes. Ce qui implique qu'ils doivent accomplir les tâches du quotidien, comme à la maison. *« On revient des courses, qu'est-ce qu'on fait ? On range les courses. Après, il faut mettre la table,* illustre-t-elle. *C'est une des problématiques d'un Ehpad, où les professionnels s'occupent de tout. Qu'est-ce qui reste à faire aux résidents ? Rien. Parce qu'en fait, les tâches ménagères, c'est la vie. »* Aussi, les villageois sont libres de leurs horaires, et peuvent entrer et sortir de chez eux à tout moment. *« Nous cher-*

◀ **Situé à Dax** (Landes), le village dispose de sa supérette, où les résidents peuvent faire leurs courses aidés d'un soignant, se retrouver au café, se rendre au salon de coiffure… Tout est pensé pour que les patients se réapproprient leur vie quotidienne dans un espace sécurisé.

chons à adapter l'établissement aux villageois et à la maladie, et non l'inverse. Ne pas imposer un rythme de l'établissement sur les villageois, c'est vraiment au bénéfice de tous. C'est la vie des gens qui est priorisée », poursuit-elle. Tout est ainsi fait pour éviter l'anxiété des patients, rendant la vie plus agréable pour eux et pour le personnel soignant.

Un modèle expérimental pour les chercheurs

La normalité du lieu se reflète jusque dans les vêtements : ici, pas de blouses blanches, pas d'uniformes, impossible de savoir à première vue qui est médecin et qui est patient. La volonté de mélanger les publics va même plus loin, car plusieurs endroits du village (médiathèque, auditorium, salles de consultation médicale…) sont aussi accessibles aux habitants de Dax, par des portes qui donnent vers l'extérieur. *« On voulait que le village soit un vrai lieu de vie et pas un établissement fermé et refermé sur lui-même,* explique Mathilde Charon-Burnel. *Au bout d'un moment, on voit vraiment que les gens se mélangent.* » Les familles des résidents sont aussi les bienvenues, grâce à des studios disponibles à la location. *« Le cadre est très propice à la présence des enfants : que ce soit dans la bibliothèque, les jeux, le parc, les gamins sont en sécurité* », affirme-t-elle. Les familles peuvent ainsi plus facilement accompagner leurs proches, notamment durant leurs derniers instants. *« Pour les accompagnements de fin de vie, on s'adapte aux besoins des villageois et des familles, afin qu'ils puissent partager ces derniers moments ensemble.* »

Intuitivement, cette nouvelle approche de la prise en charge de la maladie d'Alzheimer semble plus appropriée, mais qu'en dit la recherche ? Ce village sert aussi de modèle expérimental pour des chercheurs de l'Inserm et de l'université de Bordeaux. Après cinq années d'études, ceux-ci s'apprêtent d'ailleurs à dévoiler leurs conclusions. *« Je veux rester très prudente, car ces résultats seront publiés seulement à la fin de l'année,* précise Hélène Amieva, docteure en neurosciences et directrice de l'étude. *Mais les résultats semblent très encourageants : d'abord, on n'observe pas la même accélération du déclin cognitif que l'on voit après l'entrée dans un Ehpad classique, où les patients avec Alzheimer ont beaucoup de mal à s'adapter à cet environnement. Chez les villageois, on voit le déclin normal lié à la maladie, mais pas l'aggravation rapide causée par l'entrée en établissement.* »

Même sur le plan économique, cette prise en charge plus onéreuse pourrait garder l'avantage, selon la chercheuse. Les coûts liés au village seraient compensés par des dépenses de santé évitées : moins d'hospitalisations et moins de médicaments prescrits.

Le village fait donc ses preuves, mais ce n'est pas pour autant que sa survie est garantie. Les résultats scientifiques serviront d'argument pour demander que ce modèle soit autorisé officiellement comme établissement médico-social, mais ce sera aux politiques de décider. *« La phase expérimentale va jusqu'à fin 2026, j'espère qu'ensuite on ne sera pas obligé de devenir un Ehpad, qui est un modèle beaucoup plus normé* », s'inquiète la directrice du village, Cécile Bertet.

Dans sa chambre, Brigitte me lit un de ses textes : *« Si j'étais ma maison, je serais une maison où personne n'aurait peur de se réveiller, où les cris ne seraient pas les premiers sons du matin, où l'angoisse ne s'inviterait pas à la table du petit déjeuner… Je serai une maison apaisante pour chacun, réconfortante et chaleureuse… où la peur ne serait jamais une raison d'arrêter de se battre contre notre maladie.* » ■

N. G. C.

Photos : Nathalie Guironnet/Hans Lucas pour Sciences et Avenir

Les boissons sucrées, vecteurs d'une pandémie silencieuse

C'est un paradoxe mondial : alors que les preuves scientifiques s'accumulent sur le rôle des boissons sucrées dans l'explosion du diabète et des maladies cardiaques, leur consommation continue de grimper. Les scientifiques tirent la sonnette d'alarme. Décryptage.

Elles sont omniprésentes dans nos vies : en tête de gondole dans les supermarchés, sur les panneaux publicitaires, et même dans les halls des hôpitaux. L'expansion fulgurante des boissons sucrées est scrutée de près par les scientifiques de l'université Tufts (Massachusetts, États-Unis) depuis 2008. Selon leurs derniers résultats, publiés en début d'année dans *Nature Medicine*, les boissons sucrées — sodas, jus de fruits, limonades et boissons énergétiques — seraient responsables de 9,8 % des cas de diabète de type 2 et de 3,1 % des maladies cardio-vasculaires dans le monde. Une estimation inédite réalisée à partir de 450 enquêtes alimentaires menées dans 118 pays, couvrant un échantillon de 2,9 millions d'individus, représentatif de 87,1 % de la population mondiale. Pourtant, leur consommation continue de croître : en 2024, ces mêmes scientifiques avaient alerté sur une hausse de 16 % de la consommation mondiale de boissons sucrées chez les adultes depuis 1990. Un phénomène qui n'épargne pas la France. En 2023, la bouteille de Coca-Cola de 1,75 litre était le troisième produit le plus acheté dans les supermarchés, tout achat alimentaire confondu, selon le baromètre NielsenIQ. « *Un tiers des enfants consomme plus d'un demi-verre de boisson sucrée par jour, la limite recommandée par le Programme national nutrition santé* », rappelle Chantal Julia, cheffe de service de santé publique à l'hôpital Avicenne (Bobigny) et membre du comité scientifique du Nutri-Score.

Pour Carlos Monteiro, épidémiologiste brésilien à l'origine du concept d'alimentation ultratransformée, le succès de ces boissons est dû à leur longue conservation, et au fait qu'elles soient prêtes à consommer. Sans oublier une publicité et un marketing intensifs. « *En France, en 2021, le budget consacré par les industriels de l'alimentation à la promotion de leurs produits, dont les boissons, était de 5,6 milliards d'euros, soit 5500 fois plus que le budget alloué aux messages de prévention !* », signale Ève Fouilleux, directrice de recherche au CNRS et spécialiste des politiques alimentaires et agricoles. Or, souvent qualifiées d'aliments à « calories vides » en raison de leur pauvreté en nutriments essentiels, ces boissons sont de véritables bombes caloriques. « *Des*

C. JULIA

« Un tiers des enfants consomme plus d'un demi-verre de boisson sucrée par jour, la limite recommandée »

Chantal Julia, cheffe de service de santé publique à l'hôpital Avicenne, à Bobigny

Entre 1990 et 2024, la consommation mondiale de boissons sucrées a augmenté de 16 % chez les adultes.

études américaines montrent qu'aux États-Unis, une consommation quotidienne entraîne un surplus de 157 à 203 kilocalories [kcal] *chez l'adulte, et de 204 à 224 kcal chez les enfants de 2 à 19 ans* », constate Nathalie Mathieu-Bolh, chercheuse et auteure de l'ouvrage *Économie de l'obésité* (La Découverte, 2024). Un excès loin d'être anodin quand on sait que les apports journaliers recommandés tournent autour de 2400 kcal pour un adulte et de 1800 kcal pour un enfant de plus de 7 ans.

L'organisme est alors contraint de s'adapter pour maintenir une glycémie (taux de sucre dans le sang) stable au cours de la journée. *« Le pancréas doit libérer plus d'insuline, une hormone clé qui permet aux organes d'absorber le glucose sanguin excédentaire, qui est non seulement en excès, mais aussi de façon trop fréquente* », explique Corinne Leloup, spécialiste des effets des sucres à l'université Bourgogne Europe/Inrae/CNRS. Le foie est le premier à capter ces sucres, qu'il stocke sous forme de glycogène pour anticiper les besoins énergétiques hors des repas. Une partie est également absorbée par les muscles, restant disponible pour leur fonctionnement. L'excédent est transformé en triglycérides et stocké dans le tissu adipeux. Conséquence, en cas de consommation trop importante : une prise de poids, voire l'émergence de pathologies autrefois rares, comme la stéato-hépatite non alcoolique (Nash). Cette maladie, souvent silencieuse, se caractérise par une accumulation excessive de graisses dans les cellules hépatiques. Enfin, les mitochondries — les « centrales énergétiques » des cellules — s'épuisent à convertir le glucose en énergie. *« Cette sollicitation excessive des mitochondries entraîne leur dysfonctionnement, qui peut provoquer un état inflammatoire chronique. Celui-ci favorise l'apparition de pathologies graves, telles que les maladies cardiovasculaires ou certains cancers* », avertit la scientifique.

Tous ces phénomènes ont incité les épidémiologistes de l'université Tufts à enquêter sur le lien entre la consommation de ces boissons et les décès prématurés dans le monde. En 2015, ils ont établi dans la revue *Circulation* qu'elles étaient responsables de 184 000 décès par an. Un chiffre confirmé par une étude de l'école de santé publique de l'université Harvard (États-Unis), menée en 2019 auprès de 37 716 hommes et 80 647 femmes : elle a

BOISSON	QUANTITÉ DE SUCRE POUR 100 g
Redbull	11 g
Actimel	10,8 g
Coca-Cola	10,6 g
Jus d'orange marque Repère	9,7 g
Café latte Starbucks	8,5 g
Ice tea Lipton	4,5 g + édulcorant

OPENFOODFACTS

JARRY / ANDIA.FR

GLYCÉMIE

Des effets multipliés hors des repas

Durant un repas, les macronutriments (lipides, glucides, protéines) et les fibres présents dans l'alimentation ralentissent la digestion en modulant la vidange gastrique, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le chyme (aliments prédigérés) quitte l'estomac pour l'intestin, avant que les nutriments ne passent dans la circulation sanguine. Or, en présence de liquides sucrés seuls, cette vidange est beaucoup plus rapide, provoquant un pic brutal de glycémie et une sécrétion intense d'insuline. *« Une sollicitation constante du pancréas au cours du temps conduit alors à son inflammation puis à un épuisement cellulaire, et finalement à une baisse progressive de la sécrétion d'insuline,* décrit Corinne Leloup, chercheuse à l'université Bourgogne Europe. *C'est finalement un diabète insulino-dépendant à plus long terme qui s'installe.* »

La consommation de boissons sucrées en dehors des repas perturbe en outre la sensation de satiété. Cette sensation se déclenche normalement lorsque l'estomac se dilate après l'ingestion des aliments. *« Or, cette dilatation est alors bien moindre, ce qui trouble nos mécanismes de régulation alimentaire* », conclut l'épidémiologiste Carlos Monteiro.

- révélé que les plus gros consommateurs de sodas (plus de deux canettes par jour) présentaient un risque de mortalité prématurée accru de 21 %. Celui-ci est plus élevé chez les femmes et augmente avec la consommation.

Les boissons lactées sucrées, comparables aux sodas

Ces résultats pourraient en outre être sous-estimés. Les enquêtes mondiales sur l'alimentation *« ne recueillent pas systématiquement de données sur la consommation de thé ou de café sucré* », soulignent les chercheurs de l'université Tufts. Or, l'essor des enseignes comme Starbucks, qui a ouvert pas moins de 600 nouveaux points de vente à travers le monde en 2024, contribue à la diffusion de ces produits sucrés. En Asie, les chaînes de thés sucrés au lait connaissent également une expansion rapide, au point d'alerter les autorités sanitaires. À Shanghai (Chine), par exemple, un Nutri-Grade, équivalent local du Nutri-Score, a été instauré pour sensibiliser la population aux excès de sucre et de gras contenus dans ces nouvelles recettes.

En France, ce sont les boissons lactées sucrées (Actimel, Activia, Danonino…) qui sont au cœur de tensions entre les acteurs de la santé publique et les industriels : *« Malgré des arguments marketing mettant en avant des allégations de santé — présence de vitamines, de probiotiques, de calcium… —, ces produits contiennent une quantité de sucre souvent comparable à celle des sodas* », pointe Serge Hercberg, chercheur impliqué dans les politiques de santé publique.

Face à ce constat, le comité scientifique du Nutri-Score a tranché : *« Avec la mise à jour des algorithmes de calcul, les laits et yaourts à boire ont désormais été recatégorisés pour mieux tenir compte de leur composition en sucres en particulier* », précise Chantal Julia. Résultat : avec l'adoption du nouveau Nutri-Score en mars, de nombreuses boissons lactées riches en matières grasses et en sucres écopent des notes D ou E, les plus défavorables du Nutri-Score. Un classement qui ne passe pas chez certains fabricants, alerte Serge Hercberg : *« Ils ont mené un intense lobbying auprès des ministres de l'Agriculture successifs, réussissant à bloquer la publication de l'arrêté entérinant cette mesure, pendant plus d'un an.* »

L'aspartame classé potentiellement cancérogène

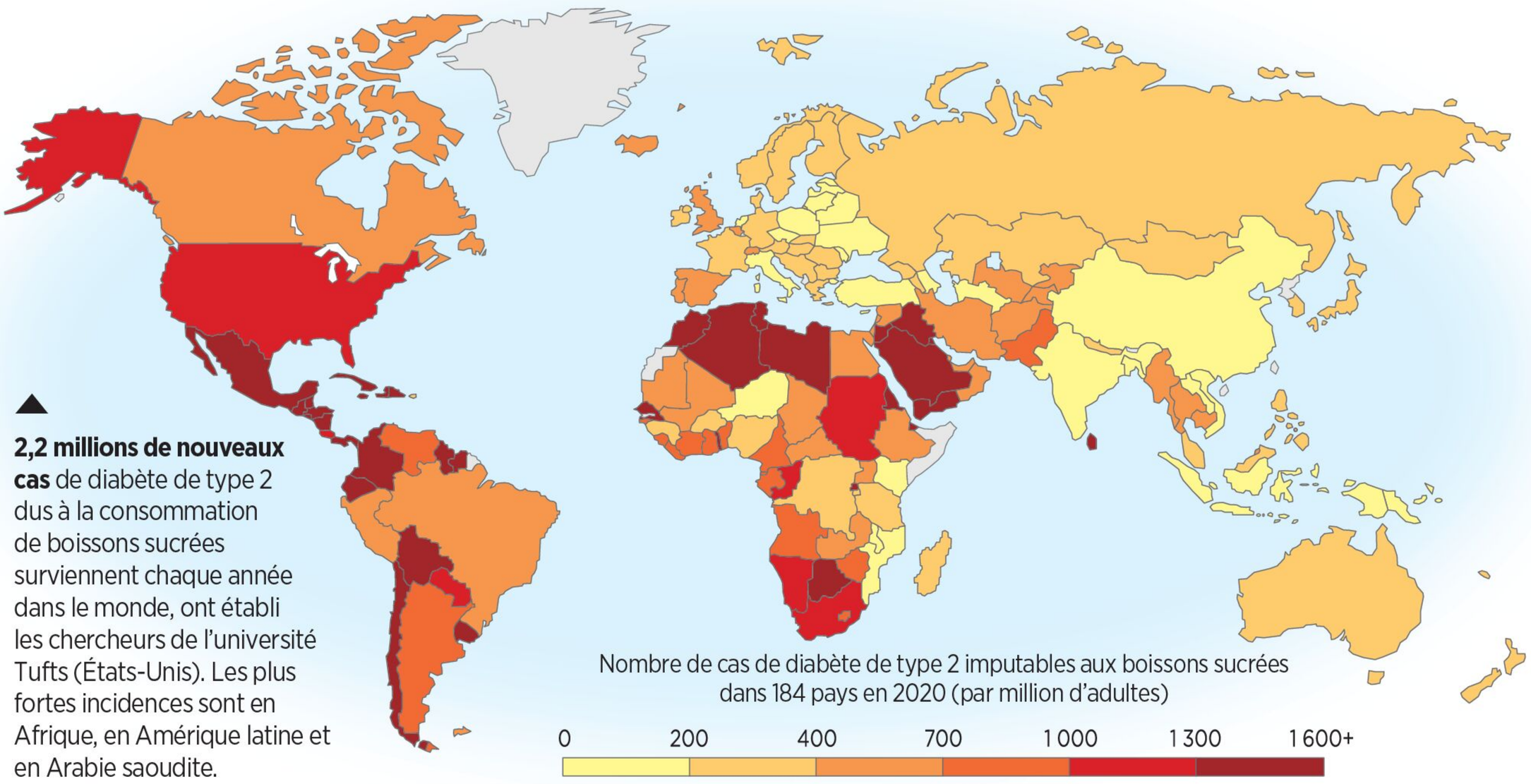
Shanghai et la France ne sont pas des cas isolés : de plus en plus de gouvernements cherchent à légiférer pour limiter la consommation de boissons sucrées. Parmi les principales mesures figurent la « taxe soda » (mars 2025), l'obligation d'afficher des logos nutritionnels, l'interdiction de vente dans les écoles, ou encore l'encadrement de la publicité. Ce à quoi les industriels répondent en développant des gammes de boissons sucrées édulcorées. Or ces dernières, présentées comme une alternative plus saine, n'échappent pas non plus aux controverses. En 2023, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé l'aspartame comme potentiellement cancérogène pour l'humain. *« Bien que certains édulcorants ne contiennent pas de calories, ils pourraient provoquer des effets similaires à ceux du sucre, notam-*

MAX BAUWENS

« Bien que certains édulcorants ne contiennent pas de calories, ils pourraient provoquer des effets similaires à ceux du sucre »

Guillaume Walther, enseignant-chercheur au Lapec, à l'université d'Avignon

Une forte implication dans les cas de diabète de type 2



▲

2,2 millions de nouveaux cas de diabète de type 2 dus à la consommation de boissons sucrées surviennent chaque année dans le monde, ont établi les chercheurs de l'université Tufts (États-Unis). Les plus fortes incidences sont en Afrique, en Amérique latine et en Arabie saoudite.

ment en déclenchant la sécrétion d'insuline. Certains édulcorants peuvent en effet se fixer sur des récepteurs spécifiques, soit ceux du goût sucré situés hors de la bouche ou bien sur d'autres familles de récepteurs et impliquer des réponses biologiques », explique Guillaume Walther, enseignant-chercheur au Laboratoire de physiologie expérimentale cardio-vasculaire (Lapec), à l'université d'Avignon. Selon lui, cette stimulation répétée du pancréas, même modeste, pourrait paradoxalement favoriser une accumulation de tissu adipeux, et entraîner à terme une prise de poids ou augmenter le risque de développer un diabète de type 2. Lorsque ces graisses s'accumulent au niveau abdominal, elles constituent un facteur reconnu dans le développement des maladies cardio-vasculaires. Une étude épidémiologique publiée dans le *British Medical Journal* en 2022 a ainsi montré que le sucralose accroît le risque de maladie coronarienne de 30 %. De plus, *« une étude américaine publiée en 2020 dans* Cell Metabolism *a révélé que la consommation de trois canettes de soda light pendant 15 jours, associée à un repas, entraînait des signes de prédiabète* », rappellent Guillaume Walther et Corinne Leloup. Selon eux, associer sucres naturels et artificiels enverrait à l'organisme des signaux contradictoires. Aussi, depuis 2023, l'Organisation mondiale de la santé recommande de limiter la consommation d'édulcorants.

Pour Nathalie Mathieu-Bolh, qui a mené toute sa carrière de chercheuse aux États-Unis et revient régulièrement en France, *« il est encourageant de voir que la France a revalorisé la taxe soda en mars, mais il faudrait accompagner cette mesure de nouvelles incitations, comme la taxation d'autres produits trop sucrés ou contenant des graisses ajoutées, ou encore la promotion du Nutri-Score.* » Après avoir observé pendant des années les conséquences du laisser-faire américain en matière de santé publique, elle alerte sur le risque de voir l'Europe suivre la même trajectoire. *« Mieux vaut éviter les boissons sucrées ou édulcorées au quotidien, elles ne sont à consommer que de manière occasionnelle,* conseille en attendant Guillaume Walther. *Et être encore plus vigilant avec les enfants et adolescents.* » ■ **Isabelle do O'Gomes**

CONSOMMATION

Portrait de l'amateur français de soda

En France, les hommes sont plus nombreux que les femmes à consommer plus d'un verre de boisson sucrée par jour : 18,4 % contre 12 %, d'après les données de Santé publique France. Les jeunes adultes de 18 à 24 ans sont les plus concernés (29 %), la consommation diminuant progressivement avec l'âge. Les disparités sociales sont marquées : les personnes aux revenus modestes, au faible niveau de diplôme, ainsi que les ouvriers dépassent plus souvent ce seuil. La Guadeloupe, la Martinique et la Guyane affichent des taux plus élevés qu'en métropole. Dans l'Hexagone, la région Hauts-de-France est la plus touchée. À l'inverse, les taux sont plus faibles en Auvergne-Rhône-Alpes et en Bretagne chez les femmes, en Pays-de-la-Loire chez les hommes.

L'assiette du sportif

Une alimentation adaptée soutient la force, l'endurance et la puissance musculaire. Elle favorise aussi la récupération et prévient les blessures.

Bien manger est capital lorsque l'on pratique un sport en loisir ou de façon intensive. Toutefois, chaque activité ne nécessite pas les mêmes besoins énergétiques : une séance de yoga, de tai-chi ou la marche impliquent une dépense calorique modérée de 150 à 300 kcal/heure, mais un match de foot, 600 à 1000 kcal/heure. Il faut donc évaluer ses besoins alimentaires en fonction de l'intensité et de la fréquence des entraînements.

Des céréales complètes au quotidien

Les glucides, stockés sous forme de **glycogène**, sont un carburant essentiel pour produire de l'énergie sous forme d'**ATP** et maintenir l'effort musculaire. Un exercice modéré d'une heure par jour (course à pied, entraînement en salle, etc.) nécessite 5 à 7 g de glucides par kilogramme de poids corporel par jour, tandis qu'un exercice d'intensité modérée à élevée (1 à 3 heures/jour) exige 6 à 10 g/kg/jour pour maintenir un apport en glycogène suffisant (1). Les glucides complexes à IG bas (pain complet, légumes secs, etc.) sont à privilégier à distance des entraînements. Digérés plus lentement grâce à leurs fibres et amidon, ils maintiennent une glycémie stable sans pic d'insuline. Les sucres simples (banane, barres de céréales, etc.) peuvent toutefois être utiles lorsque l'effort est prolongé et intense car ils fournissent rapidement de l'énergie.

9 kcal

sont générées par gramme de lipides, mais seulement 4 kcal par gramme de glucides ou de protéines.

(SOURCE : MSD MANUALS.)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

GLYCOGÈNE Glucose stocké dans le foie et les muscles. L'organisme puise dans ces réserves lors d'un effort physique en transformant le glycogène en glucose, utilisable par les cellules et les muscles.

ATP (ADÉNOSINE TRIPHOSPHATE) Molécule produite dans les mitochondries qui stocke et libère l'énergie nécessaire pour les contractions musculaires et des fonctions essentielles des cellules (transmission nerveuse, fabrication d'ADN, ARN et protéines, etc.).

STRESS OXYDATIF Déséquilibre entre la production de radicaux libres et la quantité d'antioxydants disponibles et utilisables par l'organisme. Il accélère le vieillissement cellulaire.

Un surplus de protéines

Les sportifs ont besoin d'un apport protéique supérieur à celui recommandé pour la population générale (0,8 g/kg de poids corporel/jour) afin d'améliorer les performances et maintenir la masse musculaire. Il est ainsi recommandé d'augmenter sa part quotidienne de 1 à 1,2 g/kg de poids corporel pour un sport de loisir d'intensité modérée (soit 84 g pour un homme de 70 kg) ; de 1,2 à 1,6 g/kg en cas de sport d'endurance (cyclisme, triathlon, course à pied, etc.) et d'agilité (danse, gymnastique, etc.) et jusqu'à 2 g/kg pour les sports collectifs et de combat (boxe, arts martiaux) (2). À noter que 100 g de lentilles vertes cuites en apportent 10 g; 100 g de tofu, 15 g; 100 g de crevettes, 19 g, ou encore 100 g de poulet, 30 g (3).

Des lipides pour des exercices de faible intensité

Lentement métabolisées, les graisses stockées sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux ne sont pas une réserve d'énergie adaptée pour répondre aux besoins énergétiques des efforts intenses (entraînement fractionné, musculation, etc.). Les lipides sont davantage utilisés lors d'exercices longs de faible intensité (course à pied, vélo, marche rapide, etc.) à mesure que s'épuise le glycogène musculaire (2). Il est donc recommandé de ne pas en augmenter la part quotidienne, qui doit couvrir 35 à 40 % de l'apport énergétique total, voire 25 à 35 % pour les sportifs réguliers, qui augmentent par ailleurs leur part de glucides et de protéines, également pourvoyeurs d'énergie.

Bien s'hydrater

On peut perdre de 1 à 3 litres d'eau par heure selon le sport pratiqué (0,5 à 2,5 l pour un match de tennis, 0,75 à 2,2 l pour un marathon, etc.) (4). Il est donc conseillé de boire dès le début de l'effort physique, puis de 300 à 700 ml par heure d'effort. Après la séance, choisir une eau fortement minéralisée (Vichy célestins, Saint-Yorre…), à raison de 250 à 500 ml, pour reminéraliser l'organisme (5). À noter : boire un café serré (environ 3 mg/kg de caféine) une demi-heure avant une séance sportive permettrait d'augmenter la combustion des graisses durant l'exercice physique (6).

Des vitamines et des minéraux pour récupérer

Après un exercice intense, une alimentation adaptée permet de restaurer les réserves de glycogène, réparer les fibres musculaires endommagées, se réhydrater et aussi réduire l'inflammation. La transpiration générant des pertes en vitamines et en minéraux (principalement en potassium, sodium, calcium et magnésium), celles-ci peuvent être compensées par la consommation de céréales complètes, de légumes secs, de fruits et de légumes. L'exercice intense augmente aussi le **stress oxydatif** en produisant des radicaux libres. On privilégie donc les aliments riches en vitamine C (agrumes, poivrons, fraises, etc.) et E (huiles végétales, avocat, oléagineux, etc.), antioxydants. Selon des travaux américains, consommer 57 g par jour d'amandes, aux propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes, améliorerait la récupération musculaire après un effort intense chez des personnes peu habituées à l'entraînement en résistance (7). ■ **Sylvie Boistard**

(1) Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations, Vitale K. et al, *Nutrients*, 2019.

(2) Biochemistry of Exercise, Gleeson M., *Nutrition in sport*, 2000.

(3) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(4) American College of Sports Medicine position stand. Exercise and Fluid Replacement, Sawka M. N. et al, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2007.

(5) Fiches Nutrition, Insep.

(6) Caffeine increases maximal fat oxidation during a graded exercise test: is there a diurnal variation?, Ramírez-Maldonado M. et al, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2021.

(7) Almond intake alters the acute plasma dihydroxy-octadecenoic acid (DiHOME) response to eccentric exercise, Nieman D C. et al, *Frontiers in Nutrition*, 2023.

NOUCHKA SIMIC Diététicienne du sport *

Prendre une collation avant une séance

« Les glucides sont à privilégier pour apporter suffisamment d'énergie avant une séance de sport. Si elle débute tôt le matin ou vers 17 heures, on choisit une heure avant l'entraînement une banane, une barre de céréales ou une compote, rapidement assimilables et faciles à digérer. Pour un entraînement lors de la pause méridienne, on prévoit un peu plus de glucides et de protéines le matin, voire une collation dans la matinée si on se lève tôt. Après un effort intense, les glucides sont également précieux pour reconstituer le stock de glycogène dans les muscles. »

• Auteure du *Nutri'guide du sportif*, Éd. Marabout.

ARTICLE PARTENAIRE

SCIENCES ET AVENIR

Université Paris Cité

55%

des jeunes de 18 à 24 ans **sont concernés par un problème de santé mentale ;** des solutions existent pour les prévenir et les guérir.

(source : Odoxa/Mutualité française, septembre 2024).

© Pexels

Mieux grandir dans un monde incertain : comment aider les jeunes à préserver leur santé mentale ?

Dépression, anxiété, troubles alimentaires… La santé mentale des adolescents est aujourd'hui au cœur des préoccupations des professionnels de santé comme des familles. Si la situation inquiète, il existe aussi des pistes concrètes pour mieux comprendre cette crise et y répondre.

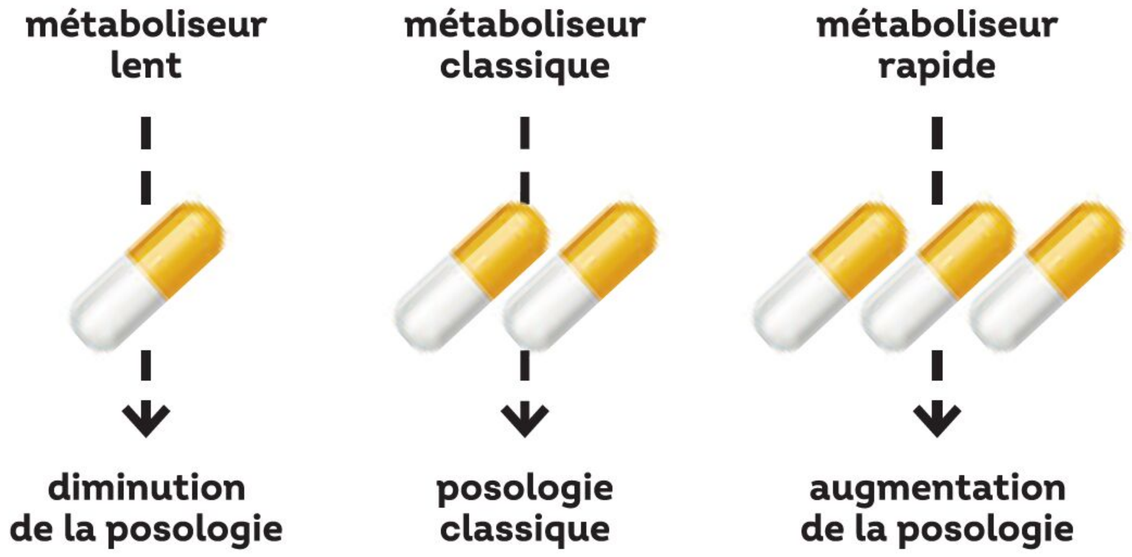
Sur le terrain, les chiffres sont sans appel. À la Maison de Solenn, centre d'accueil pour adolescents en souffrance psychique rattaché à l'AP-HP à Paris, on reçoit chaque année six mille nouveaux jeunes et leurs familles. « *La majorité consulte pour des troubles dépressifs ou anxieux, souvent accompagnés d'idées suicidaires* », alerte la pédopsychiatre et cheffe de service Marie Rose Moro, professeure à Université Paris Cité et cheffe de service de psychopathologie et médecine des adolescents à la Maison des adolescents de Cochin. La souffrance se manifeste de multiples manières : douleurs physiques inexpliquées, conduites à risque, troubles alimentaires. « *On voit de plus en plus de cas d'anorexie prépubère, dès 8 ou 9 ans, avec des conséquences lourdes sur la croissance, même après guérison.* »

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime qu'un adolescent sur sept souffre d'un trouble mental dans le monde. En France, les indicateurs confirment cette tendance : 20,8 % des 18-24 ans étaient concernés par un trouble dépressif en 2021. Et cette dégradation de la santé mentale ne date pas de la crise sanitaire (épidémie de Covid-19). Comme le rappelle Cédric Lemogne, professeur de psychiatrie à Université Paris Cité et chef du service de psychiatrie de l'adulte à l'hôpital Hôtel-Dieu, « *les enquêtes menées dès 2017 montraient déjà une hausse des symptômes anxieux et dépressifs chez les jeunes, aggravée ensuite par la pandémie* ».

Une période vulnérable dans un monde anxiogène

L'adolescence est une période de la vie particulièrement sensible, marquée par des bouleversements psychiques et biologiques. « *Le système limbique, siège des émotions, est très actif à cet âge, alors que le cortex préfrontal, qui régule ces émotions, est encore* ▸

Vers une médecine **personnalisée**



Les particularités génétiques des patients peuvent être utilisées pour adapter les traitements. **Cette discipline, appelée pharmacogénétique, est déjà active en psychiatrie et permet de mieux sélectionner les médicaments et les doses.**

3 QUESTIONS À...

Boris Chaumette,
maître de conférences à Université Paris Cité, psychiatre à l'hôpital Sainte-Anne, et chercheur à l'Inserm et à l'Institut Pasteur.

Quelle est la part de la génétique dans les troubles psychiatriques ?
Les maladies psychiatriques sont parmi les plus génétiquement déterminées. Par exemple, si un vrai jumeau développe une schizophrénie, le second a 50 % de risque d'en souffrir à son tour, contre 1% dans la population générale. Chez les faux jumeaux, ce taux tombe à 10 %, ce qui confirme que le poids de l'hérédité pèse davantage que le fait d'avoir été élevé ensemble. Pour l'autisme, la schizophrénie, le trouble bipolaire ou la dépression, l'héritabilité varie entre 80 % et 40 %. Des centaines de gènes et de mutations génétiques ont déjà été identifiés.

Et l'environnement dans tout ça ?
La génétique n'explique pas tout. Des facteurs environnementaux majeurs peuvent intervenir, comme le cannabis, qui multiplie par cinq le risque de schizophrénie. On peut aussi citer les traumatismes précoces, le stress psychosocial, ou encore certaines complications néonatales. L'adolescence, période de réorganisation cérébrale, est un moment particulièrement critique : l'interaction entre vulnérabilité génétique et environnement s'exprime ici, probablement *via* des mécanismes épigénétiques qui activent ou désactivent l'expression de certains gènes.

Quels espoirs pour la psychiatrie de demain ?
Aujourd'hui, on est un peu en train de traiter la fièvre sans connaître l'infection : par exemple, on soigne les symptômes de la schizophrénie avec des antipsychotiques qui bloquent la dopamine, alors qu'on sait que, dans certains cas, d'autres traitements seraient plus efficaces. L'idée, actuellement, c'est d'aller vers une psychiatrie de précision, en adaptant les traitements à certains groupes de patients partageant des caractéristiques biologiques bien spécifiques.
C'est l'objectif du PEPR PROPSY, un projet de recherche financé par les investissements France 2030 et auquel participe notre université, qui ambitionne de faire entrer la psychiatrie dans une nouvelle ère où les traitements seront davantage personnalisés.

en maturation », explique Grégoire Borst, professeur de psychologie du développement et de neurosciences cognitives de l'éducation à Université Paris Cité et directeur du Laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant, (LaPsyDé / UPCité-CNRS) au CNRS. « *C'est ce déséquilibre qui rend les adolescents plus fragiles face au stress ou aux perturbations du monde qui les entoure.* »

Pour le chercheur, cette vulnérabilité est exacerbée par un climat global inquiétant : crise climatique, retour de la guerre en Europe, précarité étudiante. Les jeunes se projettent difficilement dans l'avenir. À cela s'ajoutent des pressions plus quotidiennes : normes de beauté, compétition scolaire, exigences sociales... Résultat : un malaise diffus, renforcé par la difficulté à regarder vers l'avenir. Toujours selon l'OMS, 11% des jeunes présentent des signes d'usage problématique des médias sociaux, avec un écart marqué entre filles (13%) et garçons (9%).

La relation entre temps d'écran et santé mentale reste discutée. « *Ce n'est pas tant la quantité que la qualité des usages qui compte* », précise Grégoire Borst. Certains contenus peuvent effectivement fragiliser les jeunes, en particulier sur les réseaux sociaux, où la mise en avant de modèles idéalisés peut nourrir un sentiment de mal-être. Des phénomènes et des tendances valorisent des standards de maigreur extrême, diffusent des conseils dangereux sur la perte de poids, et inquiètent les professionnels de santé, notamment pour les adolescentes. Mais les garçons ne sont pas épargnés : ils peuvent également souffrir de cette pression sociale, et développent des troubles qui s'accompagnent parfois d'addictions sévères, comme le souligne Guillaume Airagnes, maître de conférences à Université Paris Cité, chef du service d'addictologie à l'hôpital européen Georges-Pompidou et directeur de l'Observatoire français des drogues et des tendances addictives. Ce contexte numérique peut contribuer à renforcer un mal-être existant, surtout lorsqu'il s'ajoute à d'autres vulnérabilités, liées au genre par exemple. En effet, pour la psychiatre et maître de conférences à Université Paris Cité Sarah Tebeka, les femmes « *présentent davantage de troubles psychiatriques, en particulier des troubles anxieux et des troubles de l'humeur, alors que les hommes seront plus concernés par des troubles associés à l'usage de drogues* ».

Portrait © DR, visuels © Freepik.com

Marie Rose Moro, professeure à Université Paris Cité et cheffe de service de psychopathologie et médecine des adolescents à la Maison des adolescents de Cochin – Maison de Solenn.

En un mot : transculturel

Depuis les années 1970, une nouvelle façon de penser le soin a vu le jour : la psychiatrie transculturelle. Partant des travaux de Georges Devereux, cette discipline émergente s'est d'abord développée pour soigner les personnes immigrées, puis leurs enfants issus de la seconde génération, en prenant en compte leur parcours, leur langue et leurs repères culturels.
Cette approche s'adresse particulièrement aux jeunes qui grandissent entre plusieurs cultures, souvent confrontés à des difficultés spécifiques : repli sur soi, troubles du comportement, dépression ou blocages liés aux discriminations. Le travail thérapeutique intègre l'ensemble de la famille et s'appuie sur une compréhension fine du contexte culturel.

Longtemps désignée sous le nom d'ethnopsychiatrie, cette discipline s'est aujourd'hui enrichie, notamment grâce à des travaux menés en France par Tobie Nathan, mais aussi au Canada, en Belgique ou en Allemagne.
Pour Marie Rose Moro, les adolescents issus de l'immigration sont contraints de mettre de côté une part d'eux-mêmes pour « rentrer dans le cadre » scolaire ou médical. La psychiatrie transculturelle fait un choix inverse : elle valorise les histoires, autorise la parole dans la langue maternelle (ou toute autre langue de la famille), et fait du soin un espace d'écoute et de dialogue. Dans cette démarche, la multiculturalité n'est pas un obstacle, mais une ressource à explorer.

Les écrans : agir sans interdire

Les effets des écrans ne sont pas uniquement psychologiques. Lorsqu'ils prennent trop de place, ils empiètent sur le sommeil et l'activité physique, deux paramètres essentiels pour l'équilibre mental. Or le manque de sommeil est un facteur bien identifié dans l'aggravation des troubles anxieux et dépressifs, rappelle le psychiatre Cédric Lemogne.

Face à ces préoccupations majeures, les spécialistes plaident pour une approche éducative plutôt que répressive. Interdire les écrans ne suffit pas, et peut même couper le dialogue entre les jeunes et les adultes. « *L'éducation numérique est primordiale : expliquer aux jeunes comment fonctionnent les algorithmes, pourquoi ils restent accrochés à leur écran, et leur montrer comment réguler leurs usages* », insiste Grégoire Borst.

Développer des compétences de compréhension critique, apprendre à repérer les mécanismes de captation de l'attention, à décrypter les contenus, mettre à distance les comportements toxiques, mais aussi identifier ce qui fait du bien ou inspire : autant d'enjeux pour aider les jeunes à construire un rapport plus sain au numérique. Des référents au sein des établissements scolaires pourraient accompagner cet apprentissage. Créer des espaces de parole pour que les adolescents puissent partager librement leurs expériences en ligne contribuerait à lever les tabous et à renforcer leur autonomie vis-à-vis des usages numériques.

La Maison de Solenn a pour mission de prendre en charge la souffrance psychique et somatique des adolescents.

Portrait © Didier Goupy/Signatures, photo © artkas.fr (design)

Vers une prise en charge plus large et pluridisciplinaire

Face à l'augmentation des demandes, les structures de soin sont souvent saturées, et des inégalités d'accès persistent. Elles touchent notamment les plus vulnérables : en situation de précarité, pris en charge par l'Aide sociale à l'enfance ou à l'issue de parcours migratoires. Ces jeunes peuvent rencontrer davantage d'obstacles pour accéder à des soins adaptés. C'est pour cela que la pédopsychiatre Marie Rose Moro défend une approche transculturelle, qui consiste à prendre en compte la langue, l'histoire et les repères culturels de chaque adolescent. Recréer du lien avec leurs origines, leurs récits familiaux ou leurs appartenances identitaires peut devenir un levier thérapeutique puissant. Cela permet aussi de mieux comprendre les formes que peut prendre la souffrance, laquelle peut s'exprimer de façon tout aussi diverse.

Mais encore faut-il savoir quand s'inquiéter. Il est essentiel, comme le souligne Marie Rose Moro, de distinguer une crise d'adolescence, marquée par des variations émotionnelles, des conflits ou un besoin d'autonomie, d'un véritable trouble psychique. Certains signes doivent alerter : un repli prolongé, l'arrêt soudain d'activités qui étaient auparavant plaisantes ou un manque d'énergie.

Au-delà du soin, la prévention joue un rôle clé. Cela passe par des moyens simples, mais essentiels : sommeil, activité physique, vie sociale, repères affectifs et éducatifs solides. L'école, la famille, les structures de jeunesse doivent aussi aborder les enjeux numériques, qui traversent aujourd'hui la construction identitaire des adolescents. Les adultes (enseignants, éducateurs, parents) doivent pouvoir repérer les premiers signes de souffrance sans stigmatiser ni minimiser.

Pour le psychiatre Cédric Lemogne, accompagner un jeune, ce n'est pas seulement intervenir quand tout va mal. C'est lui permettre de traverser les turbulences du monde actuel en comprenant que sa fragilité n'est pas une défaillance, mais un signal à écouter. Lui offrir des repères, des espaces de parole et d'écoute par des adultes formés, c'est lui donner les moyens d'avancer, même dans un monde en constante mutation. ✹

3 × 45 minutes pour parler santé mentale

L'Université Paris Cité lance une série de trois émissions consacrées à la santé mentale : réunis sur le plateau TV de l'université, 3 de ses chercheurs répondent aux questions d'un journaliste et du public d'étudiants qui les entourent, échangent et réagissent aux reportages qui sont diffusés, pour partager leurs connaissances à la pointe de la recherche.

AU PROGRAMME :

- À partir du 15/09/25, pour la rentrée universitaire : **La santé mentale et les jeunes.**
- À partir du 10/10/25, Journée internationale de la santé mentale, pendant la Fête de la science dédiée aux intelligences : **Santé mentale et génétique.**
- À partir de novembre 2025 : **L'impact des bouleversements environnementaux et sociétaux sur la santé mentale.**

© Freepik.com with AI

Les addictions

15 %

des 14-24 ans fument du tabac plusieurs fois par jour. On observe une augmentation de la consommation avec l'âge : 5 % chez les 14-17 ans, 15 % chez les 18-22 ans et plus d'un quart (27 %) chez les 23-24 ans.

16 %

des 18-22 ans disent passer plus de **5 heures par jour sur les jeux vidéo** et 7 %, plus de 8 heures.

26 %

des 18-22 ans estiment passer plus de **5 heures par jour sur les réseaux sociaux,** 10 % y consacrent plus de 8 heures chaque jour.

9 %

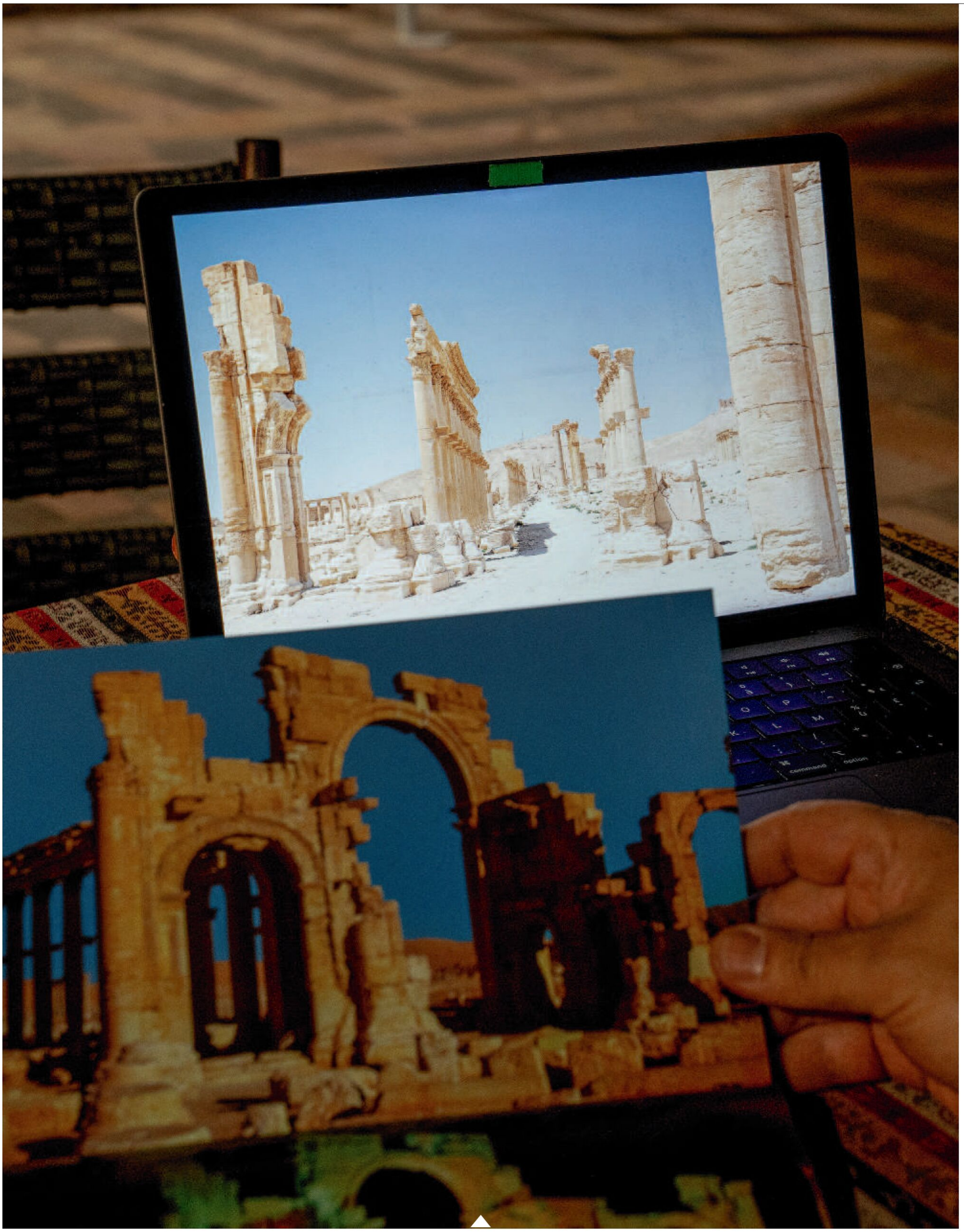
des jeunes Français entre 14 et 24 ans dévoilent **fumer du cannabis** au moins une fois par mois.

3 %

des 14-17 ans déclarent avoir déjà consommé de **la cocaïne, de l'ecstasy, de la MDMA ou du GHB.** La proportion grimpe à 5 % parmi les 18-24 ans. Dans cette classe d'âge, ils sont 3 % à en consommer au moins une fois par semaine.

Chiffres issus de l'enquête Les addictions chez les jeunes, de 2018, conçue par la Fondation pour l'innovation politique, la Fondation Gabriel Péri et le Fonds Actions Addictions et réalisée par Ipsos.

Article partenaire réalisé par L'agence Ody.C, lagenceodyc.com



À l'entrée du site antique, l'emblématique arc de triomphe (en bas, montré sur une photo datant d'avant la guerre), vieux de 2000 ans, a été pulvérisé par des djihadistes en 2015. Ne subsistent que les socles des colonnes (sur un écran d'ordinateur, en haut).

Retour à Palmyre

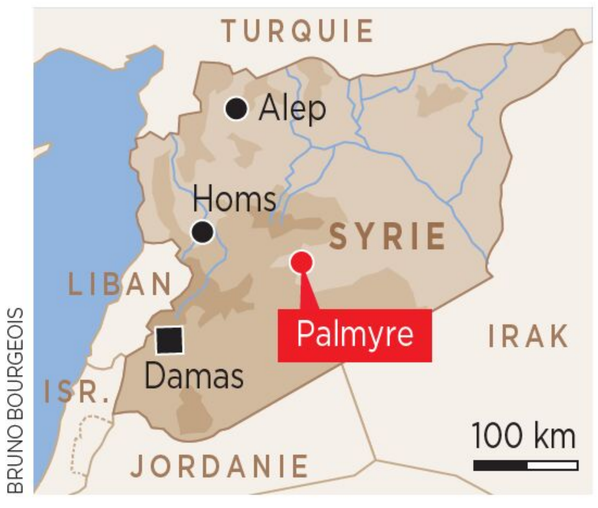
Joyau blessé du désert

Après quatorze années de guerre et les exactions du groupe État islamique, l'antique cité syrienne, classée au patrimoine mondial, est en majeure partie détruite. Rares sont les visiteurs à s'aventurer sur le site livré aux pillages et aux fouilles clandestines.

Par Fleur Bouron. Photos : Philémon Barbier / Hors Format pour Sciences et Avenir

Cinq amis syriens fument le narguilé assis sur les gradins du théâtre antique de Palmyre. L'un d'eux, Hasan, vient de rentrer de quinze ans d'exil en Suisse, et les discussions vont bon train tandis que le soleil s'enfonce derrière les montagnes du désert. Seules les pierres de la façade du monument sont encore éclairées et semblent jaunir davantage sous la lumière du soir.

À la tombée de la nuit, le site millénaire se teinte d'une couleur bleutée. Les Palmyréniens se dispersent vers la ville moderne qui jouxte les ruines. Il ne reste que des adolescents qui font un dernier tour, à trois sur une moto, entre l'agora et le temple de Nebo. Bientôt, on ne distinguera plus que les arches de la grande colonnade en ombre chinoise sur un ciel orangé. Pour le visiteur qui vient à Palmyre, l'esprit rempli des destructions de la guerre, le site archéologique, niché au milieu du désert, surprend par sa somptuosité. Les dégâts causés par le groupe État islamique (EI, appelé aussi Daech) ne se voient pas au premier coup d'œil et la beauté du lieu reste à couper le souffle, fidèle à son surnom de « perle du désert syrien ». À perte de vue s'étendent des dizaines de colonnes, des pierres, quelques monuments encore debout, et au loin le château de Qalat ibn Maan. On peut encore toucher du doigt ce condensé d'histoire d'un site qui a prospéré grâce aux caravanes de mar-



chands qui s'y arrêtaient sur les routes de la soie. Entre les Ier et IIIe siècles de notre ère, Palmyre — Tadmor en arabe — fut l'un des plus grands acteurs commerciaux du Proche-Orient.

Aujourd'hui, peu nombreux sont les visiteurs à s'y aventurer. *« Entre trois et dix par jour »*, glisse un vendeur de souvenirs qui se morfond à l'entrée du site. Il faut dire que la route pour s'y rendre n'est pas sécurisée. Dans les montagnes du désert qui entourent Palmyre, des cellules de l'EI sont encore présentes. En attestent les cinq *checkpoints* des forces de sécurité affiliées au gouvernement qui jalonnent le chemin depuis Homs.

461 fosses illégales recensées sur l'ensemble du site

Avant d'atteindre les ruines antiques, il faut aussi traverser un paysage de désolation. La large route, autrefois empruntée par des cars de touristes, est déserte. Les hôtels de luxe ont été éventrés par les bombardements. Le panneau « Tadamora hotel & spa » est criblé d'impacts de balles. Les terres alentour sont arides et grisonnantes. Un kilomètre plus loin, c'est en dépassant l'antique source d'eau Efqa, qui alimente l'immense oasis bordant Palmyre, que l'on aperçoit les premiers vestiges du site archéologique. Les quelques palmiers contribuent au décor qui se dévoile enfin, grandiose.

Les ruines ne sont aujourd'hui gardées par personne. Les 300 soldats des forces de sécurité locales patrouillent en priorité dans la ville moderne, elle aussi détruite, le désert et les routes qui mènent à l'oasis. Seul le musée, où quasiment plus rien ne subsiste, est gardé et fermé au public. Faute de surveillance, le site est en proie aux pilleurs et aux fouilles clandestines, comme en témoignent d'immenses trous creusés à de nombreux endroits. *« Une vaste zone a été fouillée manuellement au pied du camp de Dioclétien. Sur le sol, on aperçoit des fragments de décorations provenant de lits funéraires et des bustes funéraires »*, décrit l'archéologue syrien Hasan Ali. *« Certains pillards cherchent des bijoux, comme ceux sculptés sur les bustes de femmes. Mais ces ornements étaient simplement une manière de les représenter dans leur richesse : on n'en a jamais retrouvé »*, explique l'historienne Annie Sartre, spécialiste de la Syrie antique. Ces vols privent la science d'objets inédits, dont l'intérêt s'efface hors de leur contexte historique. Jusqu'en 2020, 461 fosses illégales ont été recensées à Palmyre, selon un rapport de la direction générale des Antiquités et des Musées syrienne (DGAM). Amr Al-Azm, codirecteur du projet de recherche sur le trafic d'antiquités (Athar) et professeur à l'université d'État Shawnee (Ohio, États-Unis), a recensé sur Facebook 1500 posts vendant des objets syriens issus de fouilles clandestines depuis 2012. Un tiers date d'après la chute du régime le 8 décembre 2024, témoignant de l'accélération du phénomène.

Ces pertes s'ajoutent aux destructions des précieux vestiges perpétrées par l'EI dès son entrée dans la ville le 21 mai 2015. Après avoir décapité l'ar-

ÉCOSYSTÈME

L'oasis, une autre ruine à restaurer

Après la reprise de Palmyre en 2017, le régime syrien et ses alliés ont ravagé l'oasis millénaire qui assurait la prospérité de la ville. Riche de 350 000 palmiers ainsi que de dattiers, d'oliviers, de grenadiers, elle donnait du travail à la majorité de ses 100 000 habitants. Aujourd'hui, plus de 80 % de l'oasis a été détruite : arbres brûlés pour décourager les retours, coupés pour être vendus ou déracinés pour être replantés ailleurs. L'urgence de la reconstruction est économique, environnementale et sociale. Les racines des palmiers stabilisent le sol et leurs branches réduisent l'évaporation de l'eau, protégeant la zone de la désertification. L'espoir repose sur quelques arbres encore en vie à bouturer. Il faudra cependant attendre sept ans avant les premières dattes.

◄ ▲ ►

Le théâtre romain de Palmyre (ci-dessus), construit au IIe siècle, a perdu son fronton. Les statues ont été systématiquement mutilées (à gauche et à droite) par Daech, qui considère ces œuvres figuratives comme des crimes idolâtres.

chéologue et gardien du site Khaled al-Asaad, 82 ans, qui refusait de révéler l'emplacement de trésors antiques, les extrémistes dynamitent les temples de Bêl et de Baalshamin, détruisent l'arc monumental et saccagent le musée. Les statues sont mutilées et les décors en bas-relief des lits funéraires martelés, car ils considèrent les représentations figuratives comme de l'idolâtrie. Les combats entre l'organisation terroriste et le régime de Bachar Al-Assad, soutenu par la Russie et l'Iran, endommagent largement le musée et le château qui surplombe le site. L'EI poursuit ses destructions : le tétrapyle, la façade du théâtre romain et les tours funéraires qui surmontent les hypogées — des tombeaux souterrains — achevant ainsi de ravager ce patrimoine préislamique, symbole de multiculturalisme et de coexistence confessionnelle. La ville est définitivement reprise en 2017 par le régime, et les Russes établissent une base militaire sur la nécropole nord, déstabilisant des tombeaux enfouis encore inexplorés.

Que reste-t-il vraiment de Palmyre, cette ancienne oasis caravanière, intégrée à l'empire romain en 19 avant notre ère, et des monuments de cette époque prospère qui nous sont parvenus ? Malgré les destructions, certains vestiges subsistent. Le plan du site, désormais déminé, reste intact. « *C'est comme si vous alliez à Paris et que vous n'aviez plus ni la tour Eiffel, ni le Louvre, ni le Sacré-Cœur. En revanche, vous pouvez encore déambuler dans les boulevards haussmanniens* », analyse Patrick Michel, maître d'enseignement et de recherche à l'université de Lausanne (Suisse), qui a visité plusieurs fois le site et travaille depuis 2016 à la modélisation 3D du temple détruit de Baalshamin.

À l'entrée du site, l'arc de triomphe n'est plus. Ne subsistent que les socles des colonnes qui soutenaient les trois arches et les pans des extrémités où l'on distingue encore les magnifiques décors. Une mission russe — la seule étrangère à s'être rendue sur le site —, en coopération avec la DGAM, a répertorié les blocs dès 2022, et les a dégagés du milieu du chemin. Leur projet de reconstruction de l'arc qui devait débuter fin 2024 a été stoppé net par la chute du régime de Bachar al-Assad le 8 décembre.

Les experts de l'Unesco attendent de pouvoir revenir

En tournant le dos à l'arc, on aperçoit l'enceinte intacte du sanctuaire de Bêl, en bordure de l'oasis, qui cerne quatre hectares de terrain. Mais à l'intérieur de la cour, le temple n'est plus qu'un amas de pierres. Seule la porte monumentale a résisté. « *À l'époque du mandat français en Syrie, la porte avait été renforcée avec de la ferraille* », raconte Annie Sartre, également membre du groupe d'experts à l'Unesco pour la sauvegarde du patrimoine syrien, qui attend toujours de pouvoir revenir à Palmyre.

Plus au nord, le temple de Baalshamin, érigé en l'an 17 de notre ère et embelli sous l'empereur Hadrien, a été pulvérisé. Ce sanctuaire, le deuxième plus important après Bêl, était dédié au dieu phénicien du ciel, maître des pluies et donc de la fertilité des récoltes. De ce temple à l'allure gréco-romaine, ne reste qu'un tas de cailloux. « *J'ai l'impression qu'il y a certains blocs encore récupérables, des chapiteaux, des architraves* », note Annie Sartre.

De l'autre côté du site, des mauvaises herbes envahissent les gradins ▶

FELIX IMHOFS

« C'est comme si vous alliez à Paris et que vous n'aviez plus ni la tour Eiffel, ni le Louvre, ni le Sacré-Cœur »

Patrick Michel, historien, maître d'enseignement et de recherche à l'université de Lausanne (Suisse)

du théâtre antique. *« Il n'y a plus personne pour entretenir le site »*, soupire Mohammad Nazir Awad, directeur de la DGAM jusqu'en mai 2025. Le fronton de la façade a été largement détruit et les pierres tombées au sol ont endommagé la scène. Une équipe russe a, ici aussi, trié les décombres et documenté les blocs intacts en vue d'une possible anastylose (reconstruction d'un monument en utilisant ses fragments).

À l'horizon, on aperçoit les tours funéraires en ruine sur la butte d'Umm Bêlqis de la nécropole ouest. Hautes de plusieurs étages, elles servaient de tombeau familial, accueillant jusqu'à 700 dépouilles d'une lignée aux premiers siècles de notre ère. Il n'en reste que quelques moignons désolés qui s'éboulent dans la pente. *« Je n'avais encore jamais vu de photo de la butte depuis la guerre. C'est très émouvant, et terrible aussi. La tour de Jamblique, complètement détruite, était la plus belle d'entre elles »*, réagit Annie Sartre. Dans la vallée des tombeaux, à l'écart de la cité antique, on pénètre dans le tombeau des Trois Frères, dont l'entrée est obstruée par des sacs de sable. Transformé en planque militaire par l'EI puis par les forces du régime, le tombeau est constitué de murs de briques qui le séparent en différentes pièces. Les 65 couloirs où s'empilent les *loculi* — niches funéraires servant de sépulture — ont été bouchés.

Des scènes peintes disparues sous un badigeon blanc

La scène mythologique peinte au fond du tombeau, où Ulysse reconnaît Achille parmi les filles de Lycomède sur l'île de Skyros, a disparu sous un badigeon grossier tout comme les autres peintures, elles aussi considérées comme païennes et idolâtres. *« Il sera très difficile de récupérer les scènes qui ont disparu derrière la peinture blanche »*, déplore Mohammad Nazir Awad. Quant au musée, à l'entrée de la ville moderne, il fait aussi peine à voir. Une grande réhabilitation sera nécessaire pour accueillir les quelque 850 objets sauvés par les archéologues de la DGAM avant l'arrivée de l'EI en mai 2015 — stockés dans les musées d'Homs et de Damas — et ceux réparés après leur saccage. De nombreuses pièces ont été volées, et les quelques sculptures restantes portent encore les stigmates de la violence des terroristes. Dans le jardin en friche, des dizaines de bustes antiques esquintés gisent sens dessus dessous. Malgré cela, la vie reprend peu à peu dans le désert. Depuis la chute du régime d'Assad, aucun projet de restauration n'a été lancé sur le site antique, mais les Palmyréniens reviennent de leur exil pour reconstruire leurs maisons. Hasan a passé le week-end à désencombrer l'hôtel familial, abîmé par les bombardements. *« Je suis très optimiste. Les touristes vont revenir d'ici à un an »*, assure le trentenaire, rêvant à ses balades à cheval entre les vestiges au lever du soleil. ■

PATRIMOINE

Faut-il reconstruire Palmyre ?

En 2016, Maamoun Abdelkarim, alors chef des Antiquités syriennes, estimait qu'il faudrait cinq ans pour restaurer les bâtiments détruits, avec l'accord de l'Unesco et l'aide internationale. Une idée qu'avait vivement contestée Annie Sartre, membre de l'Unesco, jugeant la reconstruction coûteuse et non prioritaire. Depuis, les avis divergent toujours. Pour nombre d'archéologues européens, rebâtir des structures réduites en gravats est illusoire. *« Il faut d'abord faire un état des lieux complet du site,* estime l'historien Patrick Michel. *Quel sens cela a de reconstruire une ruine ? Ce sera aux Syriens de décider. »* Mais pour Mohammad Nazir Awad, *« les fondations du temple de Bêl sont encore là. On peut réutiliser ses blocs intacts et en créer de nouveaux dans de la pierre des mêmes carrières. »* En parallèle, des projets de reconstitution 3D ont vu le jour. En Suisse, la numérisation des archives de l'archéologue Paul Collart, datant des années 1950, a permis de recréer virtuellement le temple de Baalshamin. Ces technologies ont aussi servi en 2019 à l'exposition « Cités millénaires. Voyages de Mossoul à Palmyre », à l'Institut du monde arabe, à Paris. Une conférence internationale sur l'avenir de Palmyre devrait se tenir les 29-30 octobre à Lausanne pour discuter reconstruction et financement du site.

Du temple de Bêl, presque entièrement détruit par Daech, seule la porte centrale est restée debout.

Cléopâtre, la reine de tous les fantasmes

À l'occasion de l'exposition « Le Mystère Cléopâtre » à l'Institut du monde arabe à Paris, retour sur les zones d'ombre qui entourent le destin de la souveraine égyptienne.

désormais archéologue Kathleen Martinez, qui a clamé en décembre 2024 avoir découvert dans l'enceinte du temple de Taposiris Magna, à une cinquantaine de kilomètres d'Alexandrie, une petite statuette représentant la reine. Pour la communauté scientifique, ce n'est rien d'autre qu'une extrapolation.

Pour autant, le « mythe Cléopâtre » ne s'est pas uniquement forgé parce que la rareté des vestiges et autres témoignages concrets de son règne l'a permis. C'est bien la propagande d'Octave, devenu l'empereur Auguste (63 avant J.-C.–14 après J.-C.) quelques années après l'assassinat de son grand-oncle adoptif Jules César, qui a amorcé la véritable désinformation au sujet de la reine d'Égypte juste après sa mort, en 30 avant notre ère. Pour celui qui fit enfin entrer Rome dans une période de stabilité après plus d'un siècle de déchirements politiques (la fameuse *Pax romana*), il s'agit avant tout de délégitimer *« l'infidèle »* Marc Antoine, victime, comme César avant lui, du charme vénéneux de Cléopâtre et que la corruption par cet Orient *« décadent »* a fini par conduire à la disgrâce et au suicide. Une soixantaine d'auteurs grecs et latins, parmi lesquels Lucain, Virgile, Suétone ou encore Dion Cassius brosseront ainsi un portrait

BNF

Drachme (monnaie grecque antique) à l'effigie de Cléopâtre VII, frappée à Alexandrie (Égypte) au Ier siècle avant notre ère.

plus que défavorable de la souveraine déchue, souvent par bribes, lorsqu'ils abordent l'histoire de Rome. *« Cicéron, qui soutint un temps Octave contre Marc Antoine, en dira aussi du mal »*, affirme Christiane Ziegler, directrice honoraire du département des antiquités égyptiennes du musée du Louvre et commissaire scientifique de l'exposition « Le Mystère Cléopâtre », actuellement visible à l'Institut du monde arabe, à Paris (jusqu'au 11 janvier 2026). *« Il se murmurait qu'elle lui avait refusé la copie d'ouvrages conservés à la bibliothèque d'Alexandrie et qu'il l'avait, depuis cet épisode, vraiment prise en grippe. »* Mais qu'ont donc écrit tous ces hommes lettrés à son sujet ? *« Ils la font passer pour une nymphomane, voire une prostituée, qui a envoûté et précipité la mort de deux des plus puissants chefs du monde romain,* détaille la conservatrice. *Cette réputation sulfureuse vaudra à Cléopâtre d'être le sujet des toutes premières caricatures de l'histoire, dont il ne subsiste, hélas, que peu d'images mais qui sont attestées dans les sources. On peut voir entre autres dans l'exposition une saynète figurée sur certaines lampes à huile qui circulaient dans l'Empire romain et qui montrait Cléopâtre à califourchon sur un phallus aux côtés d'un crocodile du Nil. »*

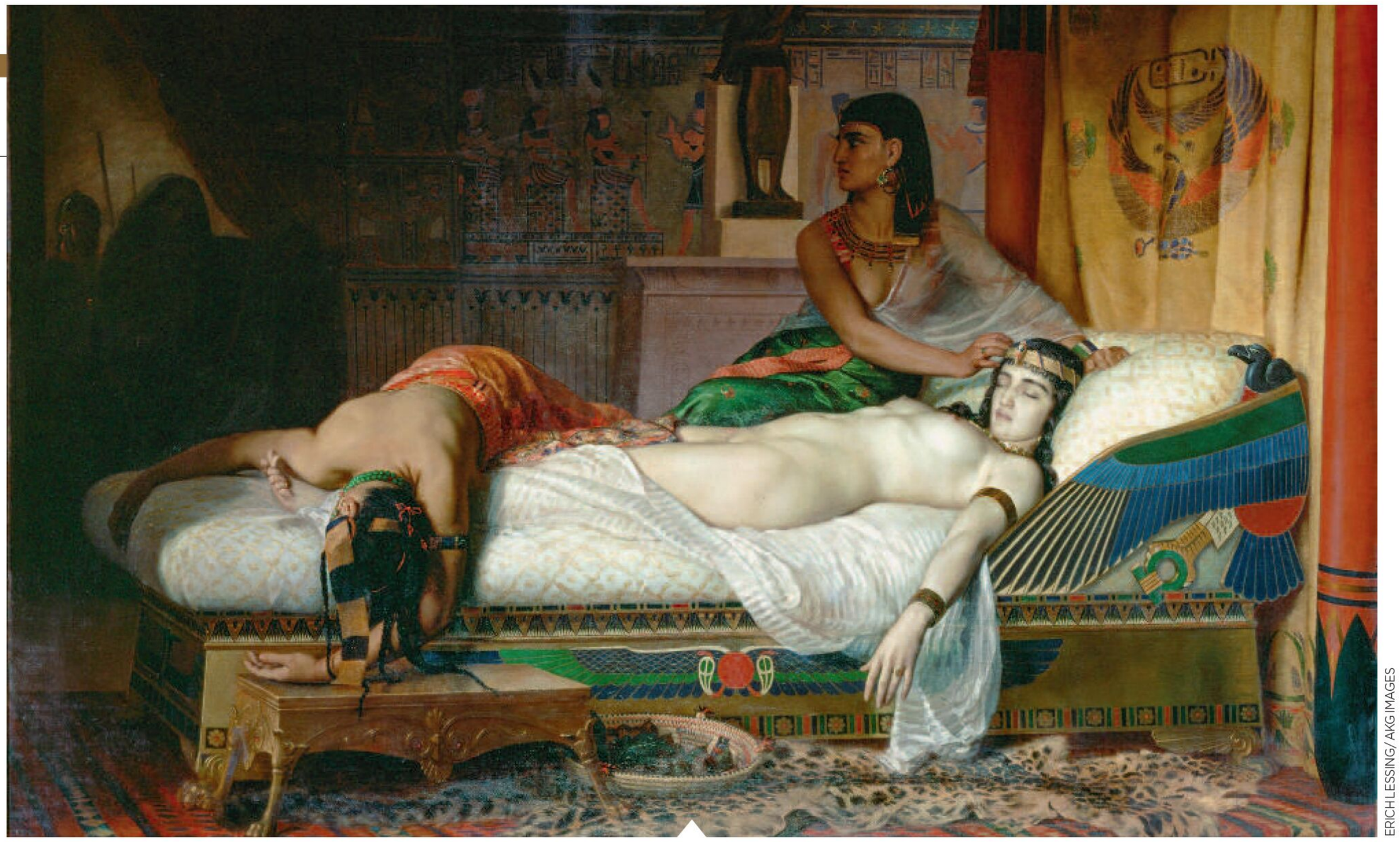
Un physique de déesse hérité de la Renaissance

« Plutarque écrivit plus que n'importe quel biographe sur la reine, poursuit Christiane Ziegler. *Et s'il la décrit lui aussi comme une femme perfide et enjôleuse, il lui attribue des armes essentiellement intellectuelles. »* La dernière souveraine de la dynastie des Ptolémée aurait eu, selon lui, un esprit rapide et cultivé, un son de voix envoûtant, un sens de la rhétorique et de la repartie remarquable mais aussi un humour décapant, comme le prouve sa célèbre ruse rocambolesque (elle aussi sans doute romancée) pour s'infiltrer dans le palais de César et lui parler : au nez et à la barbe de tous, elle serait arrivée dans les appartements du

ARCHÉOLOGIE

Les fausses pistes de la tombe d'Arsinoé IV

Chez les Ptolémée, habitués des complots, assassinats et autres infanticides, il n'y a pas que Cléopâtre qui échappe aux archéologues. Bien que moins célèbre, la sœur de la reine, Arsinoé IV, a, elle aussi, une histoire épique. Incarnation de la résistance égyptienne contre la domination romaine, elle fut assassinée à la demande de sa souveraine aînée qui voulait s'assurer qu'elle ne lui volerait jamais son trône. Le destin de la jeune princesse a connu un énième rebondissement à la fin de l'année 2024 : alors que l'on pensait avoir mis la main sur sa dépouille en 1929, conservée dans l'« Octogone » d'Éphèse (un mausolée à l'architecture évoquant le phare d'Alexandrie), des analyses menées par l'université de Vienne (Autriche) ont démontré que les ossements n'étaient en fait pas les siens. Ils appartiennent à un jeune individu de sexe masculin atteint de troubles du développement. Arsinoé rejoint ainsi sa sœur sur un point : elle figure désormais dans la liste des personnages historiques dont l'emplacement de la tombe reste encore à trouver.



ERICH LESSING/ AKG IMAGES

« La Mort de Cléopâtre », mise en scène par le peintre Jean-André Rixens en 1874, reflète le mouvement orientaliste européen.

dictateur, cachée dans un sac de marin que les auteurs modernes transformeront en tapis. Plutarque n'est donc pas avare de compliments envers Cléopâtre, mais concernant ses atouts physiques, il se veut plus frileux : *« On prétend que sa beauté, considérée en elle-même, n'était pas si incomparable […] »*. Il l'oppose même à celle, cette fois reconnue, d'Octavie, femme légitime d'Antoine délaissée près d'une décennie à Rome pendant que le général, installé à Alexandrie, donnait à Cléopâtre pas moins de trois enfants, dont des jumeaux.

La reine d'Égypte va surtout acquérir son physique de déesse à partir de la Renaissance, lorsqu'elle devient l'un des sujets favoris des peintres. *« Cette figure qui avait été honnie, diffamée, détestée par les Romains va petit à petit renaître de ses cendres à la faveur des textes de Boccace »*, explique Nathalie Bondil, directrice du musée et des expositions de l'Institut du monde arabe. *« Si elle reste une pécheresse, il la fait aussi apparaître comme une femme forte qui a préféré se donner la mort, après sa lourde défaite à la bataille d'Actium face à Octave, plutôt que de finir humiliée. »* Elle jouit ainsi d'une nouvelle image de grandeur grâce à un geste dont on ignore là encore à peu près tout : selon Virgile, Horace et Properce, elle se serait laissé mordre par un aspic, à l'âge de 39 ans, dans un tombeau dans lequel elle se serait volontairement enfermée. *« La réalité est sans doute différente,* relève Christiane Ziegler. *Il est plus probable qu'elle ait utilisé du poison, dont les Égyptiens maîtrisaient parfaitement l'art, et qu'elle se le soit injecté avec une aiguille. »* Les artistes de la Renaissance et de l'époque moderne, eux, n'hésiteront pas à déformer cet épisode déjà bien incertain pour réduire la souveraine, une fois n'est pas coutume, à sa condition féminine : dans de nombreuses œuvres picturales et littéraires, c'est au sein qu'elle choisit de se faire mordre par le reptile, symbole érotique et édénique par excellence.

Il convient cependant d'admettre qu'elle était une fine stratège, elle qui a su s'entourer des plus grands de son monde pour assurer sa protection et son ascension. *« En réalité, ce sont des sources orientales — épigraphiques, papyrologiques, pour l'essentiel — qui nous offrent depuis quelques années le portrait le plus réaliste, loin de l'imaginaire occidental débridé, de cette grande reine »*, assure Nathalie Bondil. On y apprend qu'elle fut pendant vingt-deux ans à la tête de son royaume une administratrice zélée, qui a protégé son peuple de la famine, réformé en profondeur le système monétaire et qu'elle était, surtout, aimée de son peuple. Ironiquement, l'épilogue de l'histoire de l'Égypte des pharaons, qu'elle clôture majestueusement, est le plus révélateur de sa grandeur : elle eut droit à des funérailles royales… accordées par Octave lui-même, et ce même s'il assassina quelques mois plus tard son fils chéri Césarion, âgé de 17 ans et dont le père n'était autre que César. ■

Marine Benoit

ALICE SIDOLI

« Des sources orientales nous offrent le portrait le plus réaliste, loin de l'imaginaire occidental débridé, de cette grande reine »

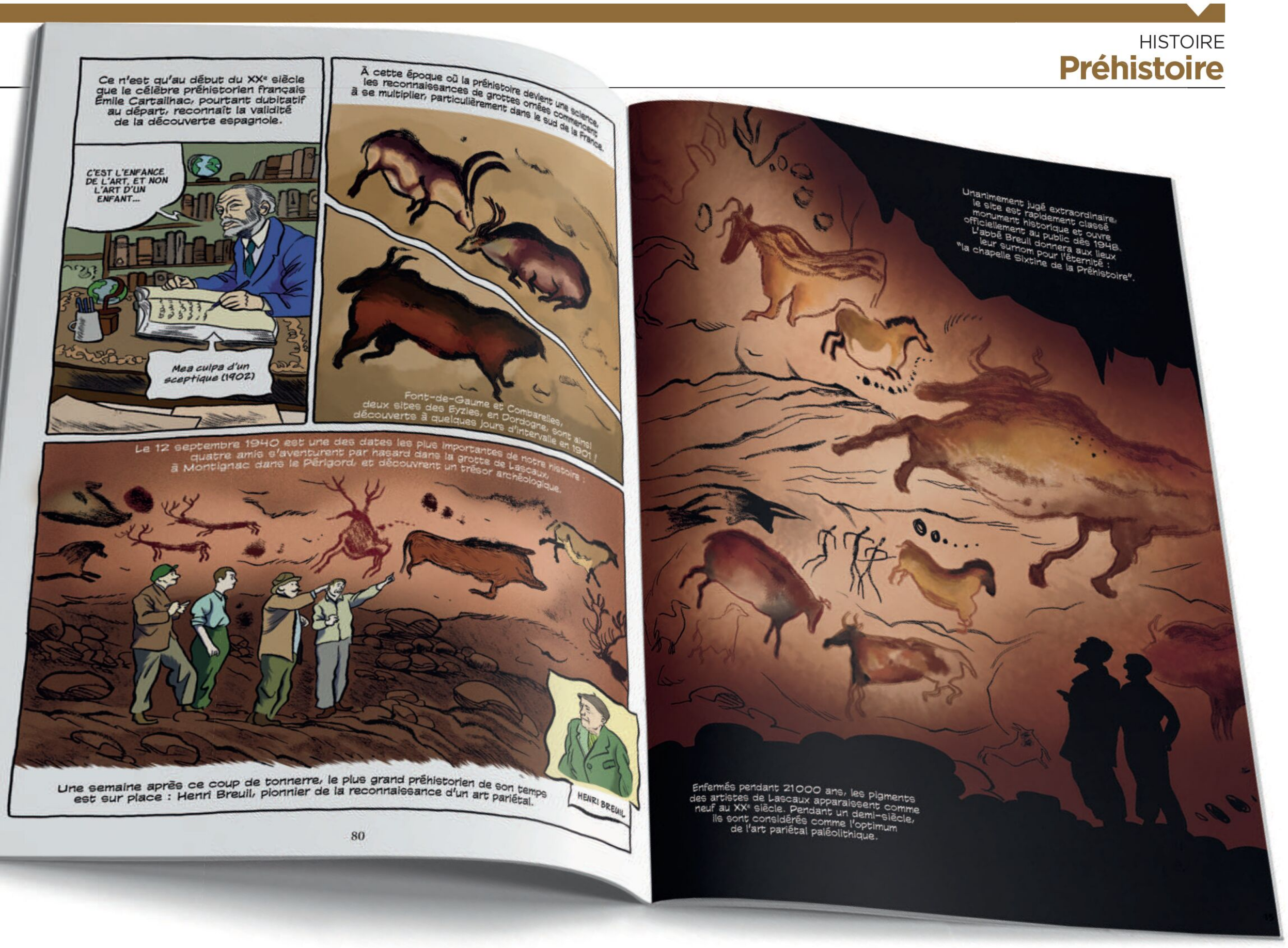
Nathalie Bondil, directrice du musée et des expositions de l'Institut du monde arabe, à Paris

« L'Incroyable Histoire de la préhistoire », Jean-Paul Demoule, Benoist Simmat et Lucas Landais, Les Arènes, 208 p., 24 € (sortie le 4 septembre).

Une passionnante exploration de notre passé

Rencontre avec l'archéologue Jean-Paul Demoule qui cosigne une ambitieuse BD documentaire brossant l'histoire de l'évolution humaine, depuis Toumaï jusqu'à l'émergence d'Homo sapiens.

Pour sa première bande dessinée, Jean-Paul Demoule a des airs de Tintin. Dans les cases où il est mis en scène, la tête du célèbre archéologue est ornée d'une petite houppette du plus bel effet « franco-belge ». *« C'est ainsi que m'a caricaturé le dessinateur Lucas Landais ; il faut savoir sortir de sa zone de confort »*, s'amuse Jean-Paul Demoule. Le scientifique a travaillé avec le scénariste Benoist Simmat — un spécialiste de la BD documentaire — pour façonner cet ambitieux ouvrage qui brosse toute l'histoire de l'évolution de l'humain, depuis Toumaï (-7 millions d'années) jusqu'à l'émergence d'*Homo sapiens*, dont le plus vieux spécimen, âgé de 300 000 ans, a été découvert sur le site de Jebel Irhoud, au Maroc. *« C'est un récit qui va des dinosaures à la naissance des États »*, commente-t-il. Passionnante exploration de notre passé, cette *Incroyable Histoire de la préhistoire*

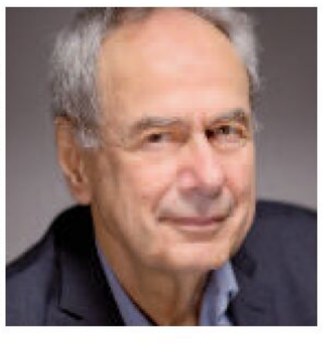


est aussi, paradoxalement, un livre qui parle de l'avenir : le cheminement de l'humanité n'est pas gravé dans le marbre et son tracé évoluera forcément avec de futures découvertes, très particulièrement en Afrique. « *Ce continent, c'est 53 fois la France* », commente Jean-Paul Demoule. De la fameuse Lucy, l'australopithèque mise au jour en Éthiopie en 1974, à *Homo naledi* (en 2013, près de Johannesburg en Afrique du Sud), les spécialistes de l'évolution y ont fait les plus grandes trouvailles. Aujourd'hui, les obstacles à la recherche y sont nombreux : conflits, djihadisme, instabilité politique… Et la richesse anthropologique du continent demeure inexplorée dans bien des zones. Peut-être pas pour toujours ? « *Il faut être optimiste* », souffle l'archéologue.

Le livre souligne également l'apport extraordinaire de la génétique. Témoin, l'identification de l'homme de Denisova, lui découvert en Eurasie. Avec le fameux Dragon man, ou homme de Harbin, son visage est enfin apparu… « *quinze jours après le départ du livre chez l'imprimeur* », sourit Benoist Simmat, signe qu'en préhistoire la connaissance décidément bouge tout le temps *(lire aussi p. 21)*. Seule certitude : cette génétique révèle une humanité plurielle, loin du schéma simpliste du singe évoluant en file indienne vers l'homme blanc. « *C'est un buissonnement permanent…* Homo sapiens *n'est pas apparu en un seul endroit précis* », reprend Jean-Paul Demoule.

Cette vision non linéaire de l'évolution — illustrée dans les ouvrages précédents de l'archéologue, dont *Naissance de la figure* (bientôt réédité chez Gallimard) —, met en évidence la complexité des origines humaines. Elle est richement illustrée dans cet ouvrage dont les auteurs relèvent avec malice une jolie coïncidence : la préhistoire est une science jeune, née au XIXe siècle… à peu près au moment où le franco-suisse Rodolphe Töpffer inventait la bande dessinée ! ■

Olivier Lascar



OLIVIER ROLLER/DIVERGENCE

« C'est un buissonnement permanent… H. sapiens n'est pas apparu en un seul endroit précis »

Jean-Paul Demoule, professeur émérite de protohistoire européenne à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne

Quinquina, l'arbre mystérieux des Andes

Au début du XVIIIe siècle, les médecins en Europe utilisent avec succès l'écorce de cet arbre réduite en poudre comme remède contre le paludisme. Pourtant, aucun botaniste ne l'a encore observé « in situ » ! Tout va changer lorsque l'Académie des sciences à Paris finance une mission en Amérique du Sud menée par l'explorateur Charles-Marie de La Condamine et le botaniste Joseph de Jussieu.

Par Bernard Jimenez

Une légende raconte qu'un indigène de la région de Loja, au sud de l'Équateur actuel, s'était soigné de ses fièvres probablement dues au paludisme en buvant l'eau d'un lac bordé d'arbres à quina. Cette guérison serait venue aux oreilles des pères jésuites espagnols qui auraient utilisé l'écorce réduite en poudre comme remède, notamment en 1638, à Lima, pour guérir d'une fièvre tierce la comtesse de Chinchon, première femme du vice-roi du Pérou. Les religieux en envoient également à Rome (Italie) où sévit le « mauvais air », la malaria (l'autre nom du paludisme). Mais la reconnaissance de son efficacité ne se fit qu'une fois les bons dosages trouvés et Charles II, roi d'Angleterre, puis Louis XIV, guéris par un médecin anglais, Robert Talbot. Ce serait le médecin génois Sebastiano Bado qui, le premier, aurait employé en 1663 le mot « quinquina », du quechua (la langue principale de l'empire Inca) *quina quina*, l'écorce des écorces. On s'apercevra plus tard que le mot *quina quina* désignait plutôt le baumier du Pérou *(Myroxylon peruiferum)* utilisé pour sa résine ou son latex, et qui produisait aussi une écorce au goût amer et fébrifuge. Au début du XVIIIe siècle, on a donc plusieurs descriptions de l'arbre, toutes avec des erreurs, mais on utilise avec succès son écorce réduite en poudre comme remède contre le paludisme. Pourtant, aucun botaniste ne l'a encore observé *in situ* !

En 1704, Louis XIV confie ainsi au père Charles Plumier la mission d'étudier cet arbre en Amérique du Sud, mais le religieux meurt en chemin à Cadix, au sud-ouest de l'Espagne. Trente ans plus tard, c'est à l'expédition partie au Pérou mesurer un degré de méridien *(lire l'encadré p. 88)* que l'Académie des sciences confie la même mission : identifier l'arbre dont l'écorce, surnommée parfois « l'or amer des Indes », était devenue rare et chère en Europe. Au début de l'année 1737, alors que l'explorateur Charles-Marie de La Condamine s'apprête à quitter Quito (Équateur) pour rejoindre Lima afin d'y échanger ses lettres de crédit pour financer la poursuite de relevés géographiques et astronomiques, Joseph de Jussieu,

FRANÇOISE JIMENEZ

Historien, voyageur et photographe, Bernard Jimenez a notamment publié « Les Conquistadors du savoir. Une fabuleuse épopée scientifique en Amérique du Sud » (Glénat, 2024).

AKG IMAGES - HERITAGE-IMAGES / OXFORD SCIENCE ARCHIVE / AKG IMAGES

Le quinquina rouge est l'une des trois espèces distinguées par Charles-Marie de La Condamine au cours de son expédition dans la montagne de Cajanuma, au sud de l'Équateur, en 1737. (Illustrations tirées du « Règne végétal », de L. Guérin, 1870-1872, et de « A Key to Physic », d'Ebenezer Sibly, 1795.)

jeune médecin et botaniste de l'expédition, le convainc d'effectuer un détour par la région de Loja. C'est là, entre 1300 et 2900 mètres d'altitude, que pousse l'arbre à quina.

L'arbre mystérieux enfin décrit scientifiquement

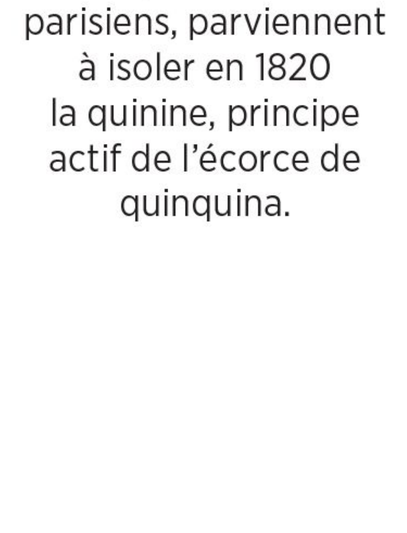
Arrivé à Loja et renseigné par des négociants, Charles-Marie de La Condamine rejoint la montagne de Cajanuma *« où se recueille le meilleur quinquina, du moins le plus renommé »*. Il passe la nuit dans la cabane d'un « leveur » d'écorce qui lui montre le lendemain plusieurs de ces grands arbustes (pouvant atteindre 6 mètres de hauteur), ce qui lui permet de dessiner *« une branche avec les feuilles, les fleurs et les graines qui s'y rencontrent en même temps dans toutes les saisons de l'année »*.

Se basant sur les notes remises par Joseph de Jussieu, Charles-Marie de La Condamine rédige un mémoire, « Sur l'arbre du quinquina », qu'il adressera à l'Académie avec quelques feuilles, fleurs et graines séchées. Il distingue trois espèces par la couleur de l'intérieur de l'écorce : le gris (le moins bon), le jaune et le rouge (le plus efficace). N'ayant pas le temps de vérifier ces informations, il avoue honnêtement : *« Le peu de séjour que j'ai fait à Loja ne m'a pas permis d'examiner par moi-même ces distinctions de couleur, de vertu et de diversité d'espèces. Cet examen eût demandé du temps, des expériences, et l'œil d'un botaniste. Ce n'est que du voyage de M. de Jussieu qu'on peut espérer ces éclaircissements. »* Il donne aussi des indications sur les lieux où poussent les arbres, sur leur port, le mode de récolte de l'écorce et sa surexploitation : *« Ils deviennent fort gros quand on leur laisse prendre leur croissance [mais] la grande consommation qui en a été faite est cause qu'on n'en trouve presque plus aujourd'hui que de jeunes [...] Il n'y a pas quinze ans que les commerçants se munissaient d'un certificat par-devant notaire comme quoi le quinquina qu'ils achetaient était de Cajanuma. »* Une appellation d'origine contrôlée avant l'heure !

Lu à l'Académie par Du Fay le 21 mai 1738, le mémoire de Charles-Marie de La Condamine sera publié en 1739. Un siècle après les premiers usages thérapeutiques de l'écorce de quinquina à Rome ou à Séville (Espagne), l'arbre mystérieux qui la produit est enfin décrit scientifiquement !

Jussieu entreprend de collecter et cataloguer les différentes variétés

Joseph de Jussieu aurait pu accompagner Charles-Marie de La Condamine jusqu'à Loja début 1737, mais il a préféré dans un premier temps se consacrer à l'étude des plantes andines. On trouve pourtant dans ses papiers une première note de quatre pages en latin, datée de Quito le 20 juillet 1737 et intitulée *Descriptio arboris kina kina*, vraisemblablement rédigée d'après les observations de Charles-Marie de La Condamine. Ce n'est qu'en 1739 que le botaniste, accompagné du peintre Morainville, se rend à Loja pour reprendre et compléter les observations de l'académicien. Ils y resteront d'avril à juin, parcourant cette région de moyenne montagne dans tous les sens de façon à collecter et à cataloguer les différentes variétés d'arbres à quina.



AKG IMAGES

Joseph Pelletier et Joseph Caventou, deux pharmaciens parisiens, parviennent à isoler en 1820 la quinine, principe actif de l'écorce de quinquina.

On a aujourd'hui au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, ces planches d'herbier miraculeusement conservées, quelques superbes aquarelles de Joseph de Jussieu ou Morainville et plusieurs manuscrits. Parmi ces précieux documents, un deuxième mémoire de 18 pages en latin également intitulé *Descriptio arboris kina kina*, très précis, aurait mérité une diffusion immédiate. Mais, sans doute à cause de la publication de celui de Charles-Marie de La Condamine, il allait rester inédit jusqu'en 1936. Il s'ouvre par la description botanique du tronc, de l'écorce, des feuilles, des fleurs, des fruits et des graines, ce qui permet à Joseph de Jussieu de situer le quinquina dans le système de classification mis au point par le botaniste français Joseph Pitton de Tournefort. En 1742, le naturaliste suédois Carl von Linné baptise le quinquina à écorce grise *Cinchona officinalis* — rendant ainsi hommage à la comtesse espagnole de Chinchon (en oubliant le premier h de son nom), guérie en 1638 par l'écorce de quina réduite en poudre. Tandis que ceux porteurs de l'écorce guérisseuse du paludisme sont dénommés *Cinchona pubescens* (quinquina rouge) et *Cinchona calisaya* (quinquina jaune).

Des plantations d'arbres à quinquina voient le jour en Inde et à Java

Mais l'aventure du quinquina n'allait pas s'arrêter là. Au XIXe siècle, la chimie prend son essor et deux pharmaciens parisiens — et académiciens — Joseph Pelletier et Joseph Caventou isolent en 1820 le principe actif de l'écorce de quinquina, un alcaloïde auquel ils donnent le nom de quinine. C'est ce principe actif qui a la faculté de couper le cycle biologique du plasmodium, le protozoaire responsable du paludisme.

À la fin du XIXe siècle, la surexploitation du quinquina sauvage en Amérique du Sud conduit peu à peu à sa raréfaction et, pour répondre à la forte demande de ce nouveau fébrifuge, l'Angleterre puis les Pays-Bas développent de grandes plantations d'arbre à quinquina dans leurs colonies d'Inde et de Java. Enfin, en 1944, les progrès de la chimie permettront à Robert Burns Woodward et William von Eggers Doering de l'université Harvard (États-Unis) de réaliser la première synthèse de la quinine. Aujourd'hui, le terme quinquina désigne aussi bien l'arbre, l'écorce (une drogue) ou le vin de quinquina (un apéritif) ■

MISSION SCIENTIFIQUE

L'expédition géodésique française à l'équateur

Au début des années 1730, l'Académie des sciences se passionne pour la polémique entre partisans et opposants d'Isaac Newton qui soutient que la Terre est aplatie aux Pôles et renflée à l'équateur, tandis que Jean-Dominique Cassini est persuadé qu'elle a la forme d'un œuf. Pour trancher cette question, d'une importance majeure pour les marins qui veulent des cartes plus précises, l'Académie propose d'envoyer une mission au vice-royaume du Pérou pour y mesurer, au voisinage de l'équateur, un degré de méridien qu'on comparera à la longueur mesurée en France ou mieux, au niveau du cercle polaire. Louis XV donnera son accord et financera cette toute première expédition scientifique à grande échelle. Le 16 mai 1735, une dizaine de savants-aventuriers dont trois académiciens, Louis Godin, Pierre Bouguer, Charles-Marie de La Condamine et un modeste médecin botaniste, Joseph de Jussieu, embarquent à La Rochelle à destination du « Pérou ». Les premiers ne reviendront en France que neuf ans plus tard mais, après d'incroyables aventures sur les hauts plateaux et les sommets glacés de la cordillère des Andes, ils ramèneront la mesure tant attendue : un degré de méridien compte 56 753 toises (110,6 km) à l'équateur, à comparer avec les 57 438 toises (111,9 km) obtenues au niveau du cercle polaire. Il n'y a donc plus aucun doute : la Terre est bien un sphéroïde aplati aux Pôles et renflé à l'équateur.

Université Paris Cité

PROCÈS FICTIF « TOUTE LA VÉRITÉ, RIEN QUE LA VÉRITÉ, SUR LA SANTÉ PLANÉTAIRE ! »

RENDEZ-VOUS LE JEUDI 18 SEPTEMBRE 2025, DE 20H À 22H, À L'UNIVERSITÉ PARIS CITÉ

À l'occasion de sa Semaine de la santé planétaire et pour célébrer la rentrée universitaire, l'Université Paris Cité vous ouvre ses portes et vous invite à participer à un procès inattendu, animé par un tribunal de scientifiques à la pointe de la recherche, pour faire la vérité sur cette notion encore méconnue et pourtant essentielle qu'est la santé planétaire.

Un événement vivant et trépidant, qui interroge et dresse un parallèle fructueux entre l'élaboration de la vérité judiciaire et celle de la vérité scientifique, sous forme théâtralisée. La procédure d'audience, avec son processus d'enquête, de questionnement, de confrontation des points de vue, utilise des leviers qui sont également au principe de toute démarche scientifique.

Ce procès met en scène 10 éminents chercheurs et experts de l'Université Paris Cité qui, à travers leurs échanges et leurs prises de parole, rappellent le rôle fondamental de l'université et son impact positif : produire des connaissances rigoureuses, éclairer les décisions publiques, alerter sur les grands défis sociétaux et proposer des solutions étayées par des preuves scientifiques avérées.

INFORMATIONS PRATIQUES

Le 18 septembre 2025 | 20h > 22h

Campus Saint-Germain-des-Prés | Amphithéâtre Binet
45 rue des Saints-Pères 75006 Paris

Tous publics
(sur inscription, dans la limite des places disponibles)

S'INSCRIRE

EN SAVOIR PLUS

LA SANTÉ PLANÉTAIRE FAIT SA RENTRÉE À L'UNIVERSITÉ PARIS CITÉ

Du 15 au 20 septembre 2025

« La Semaine de la santé planétaire, c'est l'illustration de l'engagement collectif de l'université. »

Édouard Kaminski,
président de l'Université Paris Cité

Engagée pour la « santé planétaire », dont elle a fait sa signature – « des êtres vivants en bonne santé, au sein de sociétés en bonne santé, sur une planète en bonne santé » –, l'Université Paris Cité contribue à façonner et prendre soin du monde actuel et à venir : par les valeurs qu'elle défend, les formations qu'elle délivre, la recherche, l'innovation et les transferts technologiques qu'elle développe, par ses expertises et les emplois qu'elle engendre, elle entend ainsi jouer pleinement son rôle d'acteur public clé.

Dans le cadre de la rentrée universitaire, elle lance la première édition de sa Semaine de la santé planétaire, invitant ses personnels et ses étudiants à participer à de nombreux événements sur ses différents sites et campus, mais aussi le grand public, à travers un procès fictif inédit mettant en scène santé planétaire et vérité scientifique. Pour l'occasion, une série de trois émissions sur la santé mentale sera également diffusée sur sa chaîne d'information.

https://5ans.u-pariscite.fr/sante-planetaire/

Université de recherche omni-disciplinaire, interdisciplinaire et professionnalisante, l'Université Paris Cité se positionne au meilleur niveau international par le rayonnement et l'originalité de sa recherche.

68 000 étudiants

4838 enseignants-chercheurs

2794 personnels administratifs et techniques

113 laboratoires et structures de recherche

60e meilleure université au monde (Shanghai 2024)

5e meilleure université source d'innovation au monde (Clarivate 2025)

RENDEZ-VOUS

HERVÉ CHAMPOLLION / AKG IMAGES

Paysan avec antilopes, relief peint dans le tombeau de Khnoumhotep et Niânkhkhnoum (vers 2450 avant notre ère, Saqqarah, Égypte).

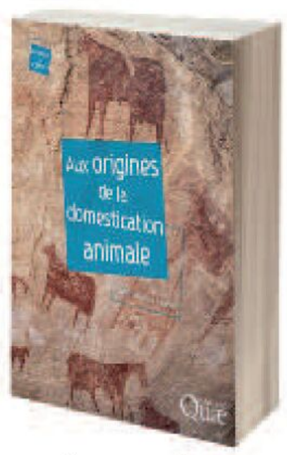
SOMMAIRE

▶ C'est à lire p. 90
▶ C'est à voir p. 92
▶ Questions de lecteurs p. 94
▶ Courrier p. 95
▶ Le ciel du mois p. 96
▶ À retrouver sur notre site p. 98

Les meilleurs amis de l'homme

Jean-Denis Vigne retrace les mécanismes de la domestication animale, cette cohabitation fructueuse qui a servi au développement des sociétés humaines.

ENQUÊTE D'où viennent le chien, le chat, le cheval et bien d'autres animaux domestiques qui accompagnent l'humanité depuis des millénaires ? Comment s'est faite leur domestication à partir d'individus sauvages souvent disparus ? Les réponses les plus actuelles sont détaillées par Jean-Denis Vigne, archéozoologue et directeur de recherche émérite au CNRS, au terme d'une carrière combinant fouilles sur le terrain et analyses génétiques très poussées permises par les récents progrès du séquençage ADN et de la génomique. Avec un recul de 15 000 ans, la domestication des animaux apparaît comme un processus lent et rare, visible par des changements du squelette, de la denture et parfois de certains gènes. La datation des débuts d'une domestication est une vraie enquête fondée sur de nombreux indices. Avec parfois des rebondissements inattendus, comme la découverte d'un chat domestique dans une tombe à Chypre datée de -9000 ans, soit près de 4000 ans avant ses premières traces connues en Égypte.



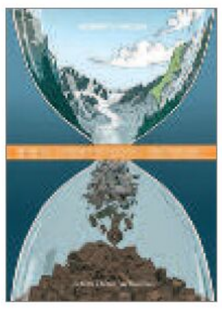
L'enquête se complique quand plusieurs foyers de domestication peuvent être identifiés, comme dans le cas du chien, du porc ou de la chèvre, certains n'étant pas toujours à l'origine des espèces actuelles comme pour le cheval ou le chat. La domestication semble débuter à la suite d'une cohabitation fructueuse et spontanée, que ce soit avec l'ancêtre du chien chez les chasseurs-cueilleurs, ou du chat, du porc et de la poule chez les premiers agriculteurs.

Cet accompagnement animal a servi au développement des sociétés humaines, mais celles-ci l'ont parfois transformé en une exploitation à outrance qui appelle, selon l'auteur, à un nouveau pacte de compagnonnage plus respectueux envers ces animaux. ■ **Pierre Kaldy**

Aux origines de la domestication animale, Jean-Denis Vigne, Éditions Quæ, 144 p., 24 €

Face au mur

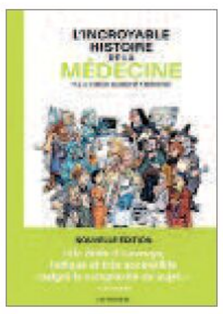
BD Le titre de cette bande dessinée scientifique, historique et sociale pourrait être « La maison brûle et nous regardons ailleurs ». Car nous nous obstinons à ne pas prendre conscience de l'intensité des phénomènes en cours, du changement climatique à la transformation des sols. Pour introduire cette démonstration, l'auteur revisite ses souvenirs d'enfance de la mer de Glace, ce glacier alpin aujourd'hui voué à la disparition, victime collatérale de la croissance économique. *« L'astéroïde c'est nous »*, avertit Roberto Grossi face à l'inertie générale… **S. R.**



Dans l'indifférence générale, Roberto Grossi, La Boîte à bulles / Arte éditions, 208 p., 25 €

La médecine en bulles

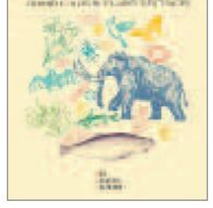
BD Voici un ouvrage où petites et grandes histoires de la médecine se succèdent au fil des pages, embarquant le lecteur dans un voyage à travers les siècles et les continents. Aux manettes, un ex-chirurgien cardiaque devenu historien et le dessinateur des *Femmes en blanc*. De l'usage des plantes sous l'Antiquité à la pose de mini-ressorts dans le cœur, remontez le temps des principales avancées d'une discipline dont le but a toujours été de soulager les maux. Entre érudition et humour, une réussite. **S. R.-M.**



L'Incroyable Histoire de la médecine, Pr Jean-Noël Fabiani-Salmon, Philippe Bercovici, Les Arènes BD, 328 p., 26 €

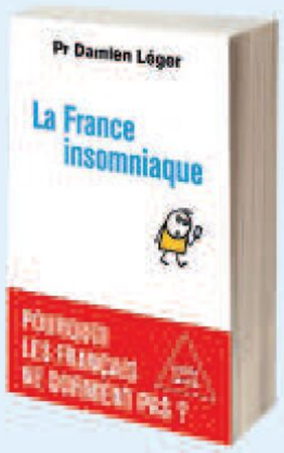
Traces du vivant

BIODIVERSITÉ *« Passer de l'invisible au visible pour l'ensemble du vivant »*: telle est la prouesse de l'ADN environnemental, détaillée ici par Benjamin Allégrini.



Naturaliste et explorateur dans l'âme, il est cofondateur d'une entreprise spécialisée dans cette méthode révolutionnaire, qui permet de déceler dans un milieu les traces du vivant, et de cerner ainsi la richesse d'un écosystème. Dans cet essai, où les observations sur le terrain se mêlent à la philosophie et interpellent la politique, l'auteur nous met face à notre relation ambivalente à la technologie. **A. De B.**

L'ADN fantôme, Benjamin Allégrini, Les Liens qui Libèrent, 285 p., 22 €

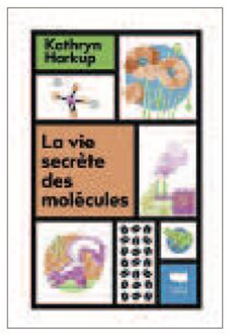


Un fléau à la loupe

SANTÉ Sous son apparence un peu fourre-tout, ce livre se révèle ultra-informatif. S'appuyant sur des études récentes, des enquêtes de santé publique et ses propres travaux de recherche, l'auteur, médecin neurophysiologiste, aborde le sujet du manque de sommeil — un fléau mondial sous-estimé selon lui — sous tous les angles, y compris les moins convenus. Sans jamais nous assommer de chiffres, il passe aussi en revue les causes, connues (travail de nuit) et plus nouvelles (réchauffement climatique, dépendance de plus en plus forte aux écrans, etc.) qui peuvent entraîner une dette de sommeil chronique. Il s'attarde également sur les conséquences de ce phénomène, qui peut affecter notre santé physique (augmentation des risques cardio-vasculaires, baisse de l'espérance de vie…) et mentale (anxiété, dépression), notre métabolisme ou encore nos capacités cognitives (baisse de la créativité). Son panorama n'aurait pas été complet s'il n'avait pas inclus, par ailleurs, un certain nombre de recommandations bienvenues pour endiguer ce problème. Un livre utile. ■ **Vincent Glavieux**

La France insomniaque, Pr Damien Léger, Odile Jacob, 224 p., 22,90 €

Gros plan sur les molécules



PORTRAITS Le concept est aussi accrocheur que sa mise en scène: décrire d'une plume légère et riche la nature des molécules, et assortir ce récit d'une fiche d'identité dessinée de façon évocatrice. L'auteure passe en revue 52 substances — ammoniac, urée, cellulose… — dont elle dévoile les curieuses caractéristiques. Comme la myristicine, par exemple, un composé de la noix de muscade, dont on apprend qu'elle peut provoquer des hallucinations… De quoi balayer vos éventuelles mésententes avec la chimie ! **A. De B.**

La Vie secrète des molécules, Kathryn Harkup, Delachaux et Niestlé, 224 p., 21,90 €

Physique et philosophie

ÉCLAIRAGE Dans cet ouvrage inspiré de notes publiées sur son blog, la physicienne allemande Sabine Hossenfelder, spécialiste de la gravité quantique, utilise les concepts les plus récents de la physique pour éclairer des questions plutôt philosophiques ou métaphysiques. Peut-on affirmer que l'Univers, dont la structure évoque nos réseaux de neurones, possède une forme de pensée ? Les équations de la physique, capables de prédire l'évolution de tout système, remettent-elles en cause l'existence du libre arbitre ? Pourquoi, selon la théorie de l'Univers-bloc, le passé, le présent et le futur coexistent-ils en permanence ? Voilà le genre d'interrogations passionnantes auxquelles l'auteure tente d'apporter des réponses. Si certaines requièrent un effort, elle s'appuie sur des notes et des schémas précis pour rendre compréhensibles les notions complexes. Un ouvrage stimulant, qui invite la physique à s'éloigner un peu de sa « zone de confort »… ■

Fabrice Nicot

Physique existentielle, Sabine Hossenfelder, Les Belles Lettres, 308 p., 23 €

C'EST À VOIR

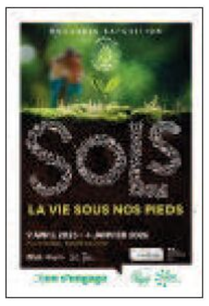
▶ **Ce symbole désigne les nouvelles expositions**

EXPOSITIONS

Deauville (14)

▶ **Bleu profond, l'océan révélé**
À la découverte des profondeurs marines à travers les regards d'artistes et de scientifiques depuis le XVIIIe siècle. Peintures, photographies, objets et vidéos emmènent le visiteur de l'estran aux abysses.
Les Franciscaines, 145 B, avenue de la République, jusqu'au 21 septembre. Rens. : 02.61.52.29.20.

Dijon (21)



▶ **Sols. La vie sous nos pieds**
Exploration d'un univers caché : la biodiversité des sols et leur rôle dans notre écosystème. Nous connaissons moins de 10 % des organismes qui y vivent.
Planétarium Hubert-Curien, jardin de l'Arquebuse, 14, rue Jehan-de-Marville, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : 03.80.48.82.00.

Elbeuf (76)

▶ **Archéo, une expo à creuser !**
Cette exposition est conçue comme un exercice pratique destiné à faire comprendre le métier d'archéologue. Comment fouille-t-on, avec quels outils ? Quels indices trouve-t-on ? Que fait-on des objets découverts ?
La Fabrique des savoirs, 7, cours Gambetta, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : 02.32.96.30.40.

IRHT-CNRS - BIBLIOTHÈQUE DU MUSÉE CONDÉ - CHÂTEAU DE CHANTILLY - GILLES KAGAN

« Le Paradis et l'Annonciation », pages extraites du célèbre manuscrit enluminé.

Chantilly (60) / Exposition

Les Très Riches Heures du duc de Berry

La dernière fois que *Les Très Riches Heures du Duc de Berry*, manuscrit médiéval façonné tout au long du XVe siècle, avait été exposé, c'était en 2004, après 1956 et 1937. Ce joyau des collections du musée Condé au château de Chantilly, du fait de sa fragilité, est conservé à l'abri des regards. Mais après une campagne de restauration, le livre formé de 206 folios, de 130 petites et grandes enluminures et de nombreuses marges ornées a été en partie dérelié. Les 26 pages du calendrier sont exposées, le reste est présenté relié et les pages seront tournées au fil des mois. C'est en 1411 que Jean, duc de Berry, fils cadet du roi Jean II le bon, grand mécène et bibliophile, commande ce « livre d'heures » (recueil de prières pour laïcs catholiques) aux frères de Limbourg, artistes attachés à la cour de Bourgogne puis à celle de Berry. L'exposition comprend une grande partie de la bibliothèque du duc, reconstituée par des prêts. Lire notre reportage : sciav.fr/943berry ■ **Aurore Neyrat**

Château de Chantilly, 7, rue Connétable, jusqu'au 5 octobre. Rens. : 03.44.27.31.80.

Le Bourget (93)

▶ **Hall de la navigation aérienne et du contrôle aérien**
Ouvert fin juin, ce nouvel espace permanent de 400 m² est consacré aux outils, aux méthodes et au personnel dont dépend la sécurité du transport aérien. Objets, archives et documents à l'appui.
Musée de l'Air et de l'Espace, 3, esplanade de l'Air-et-de-l'Espace. Rens. : 01.49.92.70.00.

Lyon (69)

Amazonies
Conçu en partenariat avec trois villages amérindiens, ce parcours porte un nouveau regard sur la forêt amazonienne. Le quotidien, le savoir-faire et les traditions de ces peuples autochtones sont racontés de leur point de vue.
Lire notre reportage : sciav.fr/943amazonies
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 8 février 2026. Rens. : 04.28.38.12.12.

Marly-le-Roi (78)

▶ **Versailles et Marly sous terre**
À la découverte de 40 ans de travaux archéologiques menés dans les domaines de Versailles et Marly. Fondations de constructions, mobilier et objets remontant au XVIIe siècle.
Pavillon des chasses présidentielles, route de Bacchus, jusqu'au 21 septembre. Rens. : 01.30.83.78.00.

Marseille (13)

▶ **Lire le ciel. Sous les étoiles en Méditerranée**
De l'Antiquité à nos jours, l'histoire de l'observation du ciel nocturne en Méditerranée à travers 300 œuvres. Des objets archéologiques côtoient des instruments scientifiques et des créations contemporaines.
Mucem, 1, esplanade du J4, jusqu'au 5 janvier 2026. Rens. : 01.84.35.13.13.

Monaco

Méditerranée 2050
La Méditerranée abrite près de 7 % des espèces marines de la planète. Les efforts pour sauvegarder ce patrimoine naturel sont détaillés sur plus de 500 mètres carrés.
Lire notre reportage : sciav.fr/943mediterranée
Musée océanographique de Monaco, avenue Saint-Martin. Rens. : (+377) 93.15.36.00.

Nantes (44)

▶ **Trésors & biodiversité**
Avant sa fermeture pour rénovation, le Muséum raconte

l'histoire de ses collections, des explorations du XIXe siècle, de l'évolution des pratiques muséales, avec un focus particulier sur les libellules.
Muséum, 12 rue Voltaire, jusqu'au 3 novembre. Rens.: 02.40.41.55.00.

Nîmes (30)

Gaulois, mais Romains !
L'histoire de la transformation de la société gauloise sous l'Empire romain, en plus de 200 objets et des reconstitutions numériques. On apprend comment s'est forgée l'identité gallo-romaine.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : museedelaromanite.fr

Paris (75)

Intelligences animales
Le parcours met en avant l'intelligence d'une vingtaine d'espèces. Des plus connues (la coopération chez les loups) aux plus obscures (la mémoire spatiale des dendrobates).
Lire notre reportage : sciav.fr/943zoo
Parc zoologique de Paris, avenue Daumesnil, jusqu'au 2 novembre. Rens. : 08.11.22.41.22.

Trop forts !
Une mise en lumière des acclimatations et des adaptations des animaux — dont l'humain — pour survivre en conditions extrêmes. Certaines de ces capacités ont inspiré les chercheurs.
Lire notre reportage : sciav.fr/943extremes
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 04.28.38.12.12.

▶ Le mystère Cléopâtre
Peintures, sculptures, estampes, manuscrits, objets archéologiques, bijoux, costumes, photographies… mettent en évidence la renommée de Cléopâtre et de l'imaginaire qui lui est associé *(lire aussi p. 81)*.
Institut du monde arabe, 1, rue des Fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 11 janvier 2026. Rens. : 01.40.51.38.38.

Draguignan (83) / Exposition

Fantômes

Tête de gorgone destinée à éloigner fantômes et mauvais esprits (époque archaïque).

LAAB/JENNIFER PARPETTE

« *Et quand ils eurent franchi le pont, les fantômes vinrent à leur rencontre.* » Philippe Charlier, commissaire d'exposition mais surtout médecin légiste et anthropologue *(lire* S. et A. n° *939, mai 2025)*, a souhaité accueillir le visiteur avec cette phrase du film *Nosferatu*, de Friedrich Wilhelm Murnau (1922). Les fantômes, eux, apparaissent dès l'Antiquité, dans les sociétés égyptienne ou grecque, matérialisés sur des tablettes, des objets rituels ou des stèles funéraires. Cette exposition n'a pas vocation à répondre à la question de l'existence ou non d'un au-delà. Elle offre plutôt l'opportunité de se laisser porter par ces croyances, sans forcément y adhérer, mais aussi par cette forme de poésie universelle que façonnent les innombrables représentations du monde mort (en 300 objets présentés) à travers les cultures et les époques. Lire notre reportage : sciav.fr/943fantomes ■ **Marine Benoit**

Hôtel départemental des expositions du Var, 1, boulevard du Maréchal-Foch, jusqu'au 28 septembre. Rens.: 04.83.95.34.08.

PARTENARIAT SCIENCES ET AVENIR

Paris (75)

Qu'est-ce qui fait de nous des humains, de la préhistoire à aujourd'hui
Dans le cadre du colloque ESHE 2025 au Muséum national d'histoire naturelle, conférence publique avec la participation d'Amélie Beaudet, Sonia Harmand, Céline Bon, Charlotte Canteloup et Lucie Rigaill.
Mairie du XIIIe arrondissement, 1, place d'Italie, 25 septembre. Rens. : www.eshe.eu/meetings

Scannez ce QR code pour retrouver toutes les expositions

La science, CQFD.
Natacha Triou
DU LUNDI AU JEUDI
16H – 17H
> Disponible sur le site et l'appli Radio France.

© Radio France/Ch. Abramowitz

En partenariat avec SCIENCES ET AVENIR

france culture
L'esprit d'ouverture

Posez vos questions sur la page **Facebook** de **Sciences et Avenir**

VINCENT DUPONT-BLACKSHAW/MILLENNIUM/PLAINPICTURE

Selon une des hypothèses avancées, notre perception du temps s'accélérerait à mesure que l'environnement nous est familier.

NEUROPSYCHOLOGIE

Pourquoi le temps passe-t-il plus vite quand on vieillit ?

Sebastien L.

« *Déjà le printemps !* », « *Le temps passe vite* »… Ces réflexions traduisent une impression largement partagée à l'âge adulte. En revanche, enfant, les journées d'école paraissaient interminables, et les vacances semblaient durer des siècles. La perception du temps change bien avec l'âge. Selon Adrian Bejan, de l'université Duke (États-Unis), la sensation du temps qui passe dépend de la fréquence à laquelle notre cerveau enregistre des images de la réalité. « *L'esprit humain perçoit la réalité à travers des images apparaissant au moment où les entrées visuelles atteignent le cortex. Ainsi, l'esprit ressent le "changement de temps" lorsque l'image perçue change* », explique-t-il dans une étude publiée en 2019. Or, un cerveau jeune capte et traite plus d'images qu'un cerveau plus âgé.

Un traitement plus lent de l'information

« *Les gens sont souvent étonnés de voir combien ils se souviennent de jours qui semblaient durer éternellement dans leur jeunesse. Ce n'est pas que leurs expériences étaient beaucoup plus profondes ou plus significatives, c'est juste qu'elles étaient traitées en rafales* », précise-t-il. Avec l'âge, le traitement de l'information ralentit : moins d'images sont perçues dans une même durée, donnant l'illusion que le temps s'accélère. Ce phénomène s'explique en partie par le vieillissement des réseaux neuronaux, qui ralentit la transmission des signaux électriques. Le taux d'acquisition des images mentales diminue, contractant la perception du temps.

Le mathématicien Christian Yates, de l'université de Bath (Royaume-Uni), avance deux autres hypothèses. Le ralentissement du métabolisme avec l'âge (rythme cardiaque, respiration) pourrait aussi modifier notre horloge interne, et la familiarité du monde jouerait un rôle : si un enfant découvre constamment, un adulte vit souvent des situations déjà connues.

Mais ces facteurs ne suffisent pas, selon lui. Il propose une interprétation mathématique : une année représente une part de plus en plus petite de la vie totale. Pour un enfant de 2 ans, un an équivaut à 50 % de sa vie ; pour un jeune de 20 ans, 5 %. Ainsi, le temps perçu entre 5 et 10 ans serait le même qu'entre 40 et 80 ans. « *Le temps passe vite, que vous vous amusiez ou non. Et il passe de plus en plus vite chaque jour, alors utilisez-le à bon escient* », conseille-t-il. ■

Camille Gaubert

ASTRONOMIE

Quelle est la forme de la Voie lactée ?

Vinh H. L.

En 2019, l'observation de 2400 étoiles a confirmé l'hypothèse de nombreux astronomes : le disque de la Voie lactée n'est pas plat mais *« avec une allure de chips Pringles géante ou de roue voilée »*. En 2020, les données du télescope spatial Gaia ont montré que cette torsion n'est pas figée : elle tourne autour du centre galactique en 600 à 700 millions d'années. La cause ? Probablement une collision en cours avec une galaxie satellite. Cette collision génère des ondulations qui tordent le disque galactique, à la manière d'un caillou jeté dans l'eau qui provoque l'apparition de vaguelettes concentriques. ■ **Joël Ignasse**

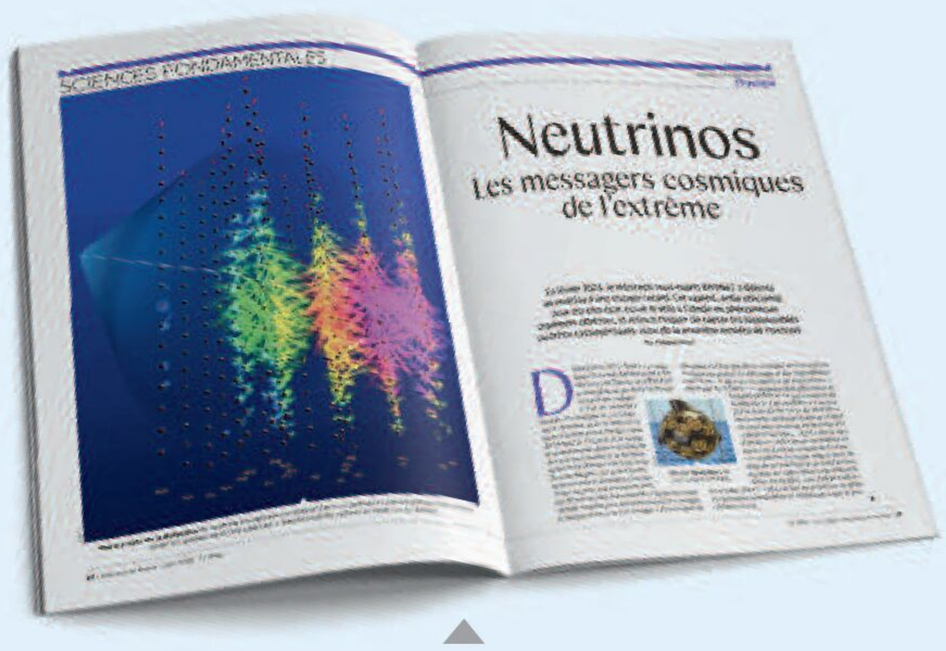
PHYSIOLOGIE

Pourquoi un appartement à 25 °C nous paraît confortable l'hiver et étouffant l'été ?

Marie P.

En plus de la température, il faut considérer l'humidité. Quand elle augmente, elle empêche le corps de transpirer efficacement, bloquant ainsi le principal système de refroidissement du corps humain. Résultat : notre corps surchauffe. Par ailleurs, notre perception de la température varie selon notre acclimatation saisonnière. En hiver, nous sortons d'un environnement froid et notre corps, à la recherche de chaleur, accueille favorablement les 25 °C. En été, au contraire, ces mêmes 25 °C, surtout en intérieur, sans circulation d'air et avec une humidité élevée, peuvent vite devenir pénibles. ■ **Lise Loumé**

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**



Neutrinos : les messagers cosmiques de l'extrême
(*Sciences et Avenir* n° 940, juin 2025)

Dans votre article, vous expliquez comment le télescope sous-marin KM3NeT a détecté un neutrino d'une énergie record. Mais quelle différence y a-t-il entre un neutrino et une zetta-particule ? **Yves Valada**

S. et A. : Les neutrinos sont des particules officiellement recensées par le modèle standard, et pouvant atteindre des énergies très importantes. Le neutrino le plus énergétique capturé à ce jour (résultat de février 2025) avait une énergie de 2,2 x 10^{17} électronvolts (eV). Les zetta-particules sont des particules théoriques dont l'énergie pourrait atteindre le zetta-électronvolt, soit 10^{21} eV. Jamais une telle énergie n'a été enregistrée, donc on ne peut pas en donner la nature. Mais on voit que ce n'est pas si loin de celle du neutrino. Donc, celui-ci pourrait être une zetta-particule, à condition qu'il soit 10 000 fois plus énergétique que le plus énergétique enregistré à ce jour. Le proton, présent dans les rayons cosmiques, pourrait aussi théoriquement être une zetta-particule.

Insectes xylophages

L'article « Quand la paille défie le béton » (*S. et A.* n° 941-942) m'a fort intéressé car je cherche à remplacer le vieil isolant sous mon toit. Cependant je souhaiterais savoir si les insectes xylophages ne risquent pas de grignoter les matériaux biosourcés. **Jean-Claude Robert**

XAVIER PAGES/NATURIMAGES

La paille, un isolant biosourcé, offre un meilleur bilan carbone que les matériaux conventionnels.

S. et A. : En effet, les matériaux biosourcés issus du bois (bois, laine de bois, ouate de cellulose…) peuvent attirer les insectes xylophages, les termites en particulier. Néanmoins, la majorité des matériaux aujourd'hui sur le marché sont traités contre les attaques de ces insectes (barrières physiques ou physico-chimiques). Il existe aussi une norme — NF X41-550 — qui permet de valider la performance des barrières mises en place pour lutter contre les insectes xylophages. Pour plus d'informations, nous vous invitons à consulter le site de l'Institut technologique Forêt cellulose bois-construction ameublement (FCBA).

Restriction calorique

Merci pour votre article sur les effets protecteurs du jeûne sur la santé (*S. et A.* n° 941-942). Ne vaut-il pas mieux diminuer sa consommation journalière plutôt que de jeûner régulièrement, pour une même consommation globale ? **Lucien Alessio**

S. et A. : La restriction calorique (le fait de manger moins) à chaque repas est en effet une alternative, qui a quelques bénéfices en commun avec le jeûne, par exemple pour perdre du poids. En revanche, elle n'active pas le « switch » métabolique observé avec le jeûne quand l'organisme remplace le glucose — vite épuisé en l'absence d'apports alimentaires — par des corps cétoniques.

LE CIEL DE SEPTEMBRE

PAR JOHAN KIEKEN

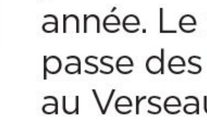
Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète n'est que marginalement observable en tout début de mois le matin. Elle passe en conjonction supérieure avec le Soleil le 13.

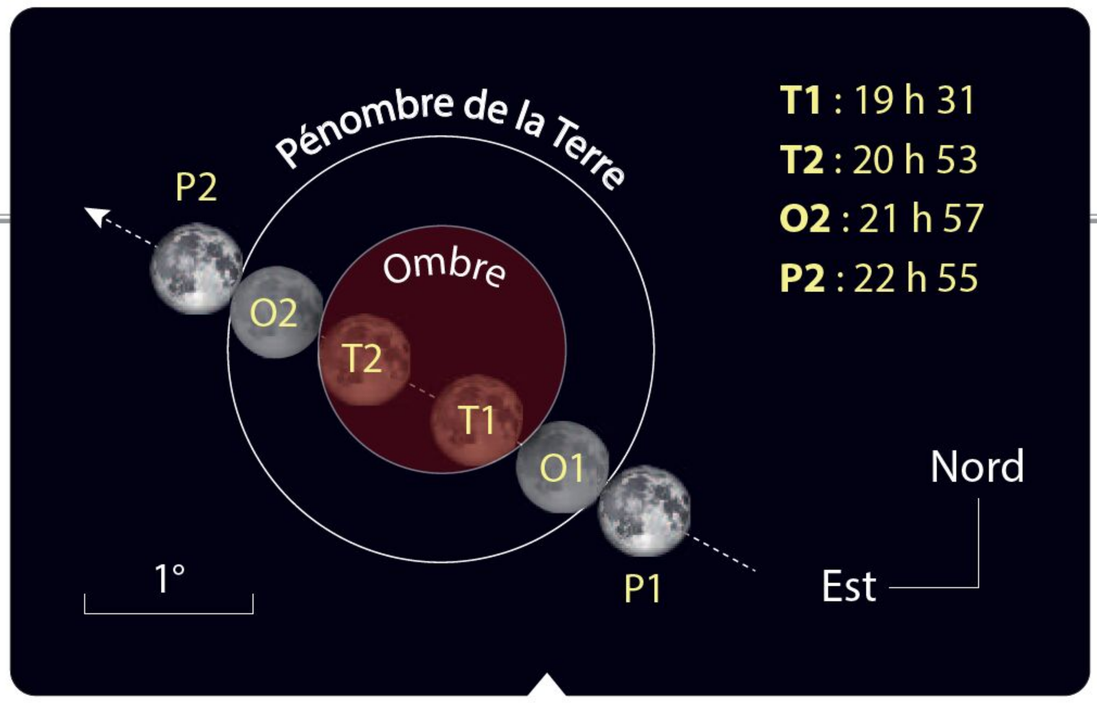
VÉNUS
Vénus est toujours une éclatante « étoile du matin » qui domine l'horizon est en fin de nuit. Le 1er, elle se lève 2 h 50 avant le Soleil et le 30, 2 h 15 avant lui. Le 9, elle quitte la constellation du Cancer et entre dans celle du Lion.

MARS
La planète Rouge n'est plus visible, beaucoup trop basse vers le couchant en soirée.

JUPITER
La plus grosse des planètes se lève en milieu de nuit. Très brillante, elle se trouve déjà à une quarantaine de degrés de hauteur quand s'annonce l'aube. Elle s'imposera comme la reine des longues nuits d'hiver à venir. Jupiter est actuellement l'hôte des Gémeaux.



SATURNE
La planète aux anneaux passe à l'opposition le 21. Située dans la direction opposée au Soleil, visible toute la nuit et à son maximum d'éclat pour 2025, elle se trouve dans des conditions d'observation idéales ce mois. Un instrument d'optique muni d'un grossissement d'au moins 30 fois vous permet de déceler ses anneaux, vus quasiment par la tranche cette année. Le 29, Saturne passe des Poissons au Verseau.



Les différentes phases de l'éclipse. De droite à gauche : entrée dans la pénombre (P1), entrée dans l'ombre (O1), début de la totalité (T1), fin de la totalité (T2), sortie de l'ombre (O2) et sortie de la pénombre (P2).

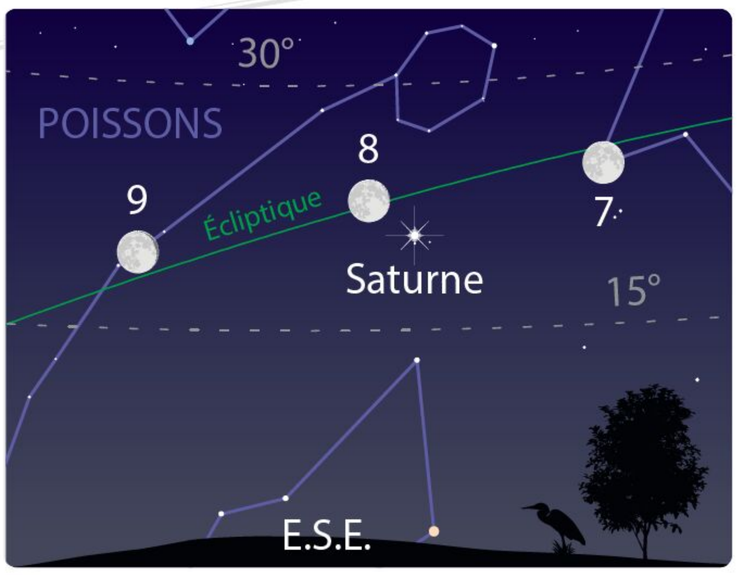
Un lever de Lune totalement éclipsé

LE SOIR DU DIMANCHE 7, il y aura une éclipse totale de Lune visible en partie en France métropolitaine. Notre satellite se lèvera totalement éclipsé, ce qui renforcera encore la teinte rougeâtre et l'assombrissement qu'il présente habituellement près de l'horizon. Sa sortie de l'ombre terrestre débutera à 20 h 53 et sera complète à 21 h 57.

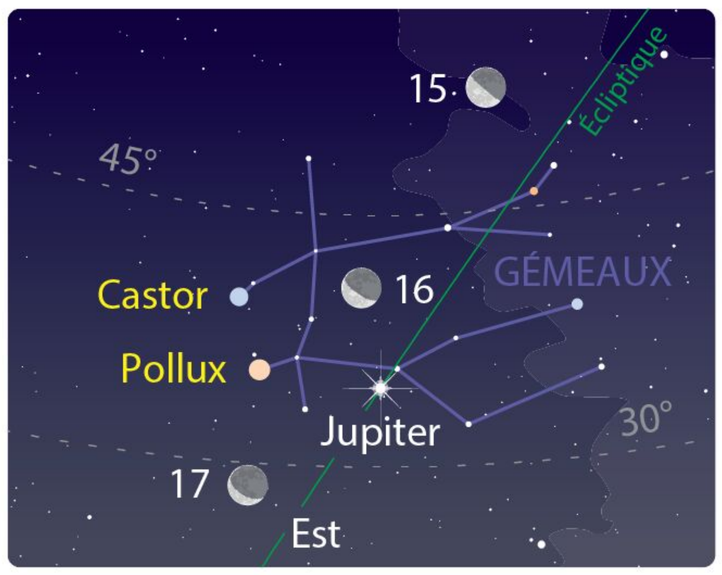
Notre conseil L'observation d'une éclipse de Lune ne nécessite aucune protection particulière. Votre horizon est-sud-est devra être parfaitement dégagé car, à la fin de la phase de totalité, la hauteur de la Lune sera encore inférieure à 20°.

L'appli du mois

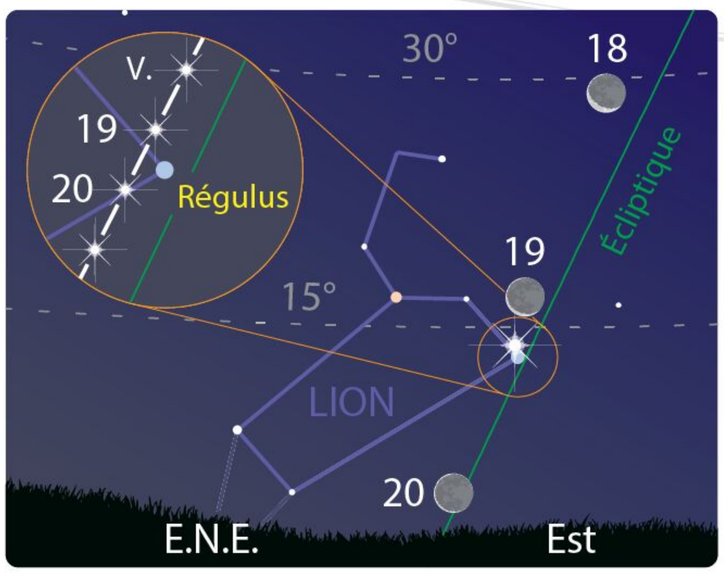
MeteorActive est une application gratuite en anglais pour iOS dédiée aux pluies de météores. Elle affiche un calendrier précis des essaims, prédit leur activité en tenant compte de votre localisation, et vous alerte sur les meilleures nuits d'observation. Idéale pour ne pas manquer les étoiles filantes.



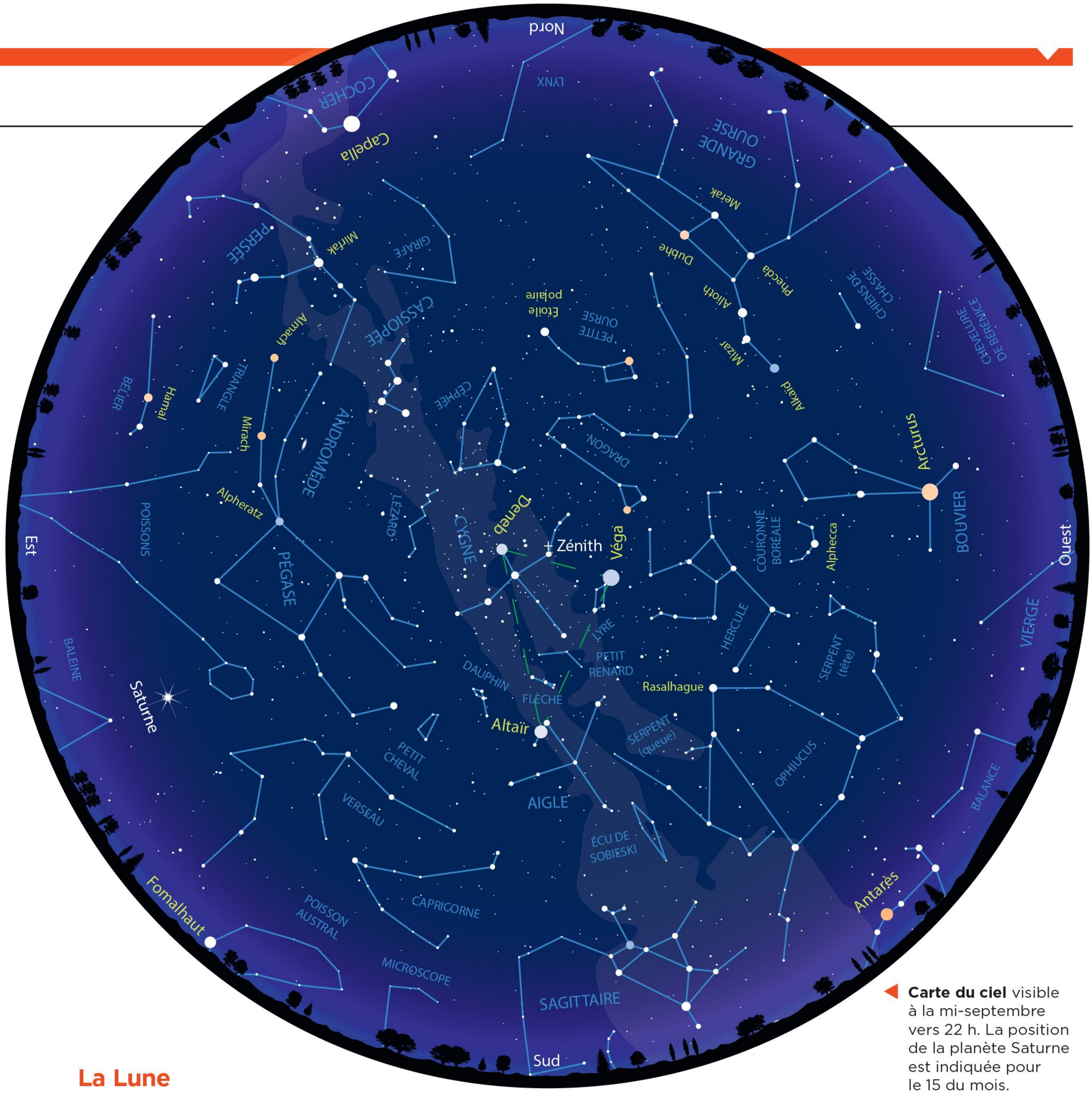
LE SOIR DU 8, À 23 H, LA LUNE EST À 4° DE SATURNE. Notre satellite, à l'éclat très intense, vous permet néanmoins de repérer sans équivoque la lointaine planète.



DU 15 AU 17, 2 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, admirez le dernier croissant de Lune en train de passer au large de la brillante planète Jupiter dans la belle constellation des Gémeaux.



LE 19, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, vous pouvez assister à un rapprochement spectaculaire entre Vénus (V), l'étoile Régulus du Lion et le fin dernier croissant lunaire.



Carte du ciel visible à la mi-septembre vers 22 h. La position de la planète Saturne est indiquée pour le 15 du mois.

La Lune

Pleine lune dimanche 7 à 20 h (notre satellite se trouve alors dans la constellation du Verseau)

Dernier quartier dimanche 14 à 13 h (Taureau)

Nouvelle lune dimanche 21 à 22 h (Vierge)

Premier quartier mardi 30 à 2 h (Sagittaire)

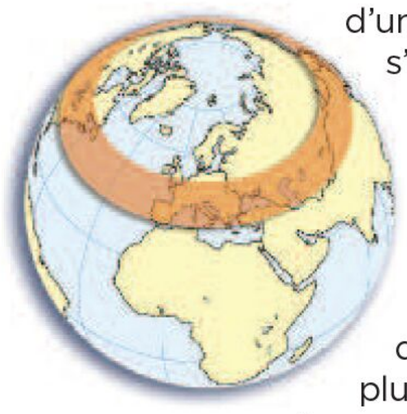
Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er septembre	**7h09**	**20h31**
30 septembre	**7h50**	**19h30**

Équinoxe d'automne le 22 à 20 h

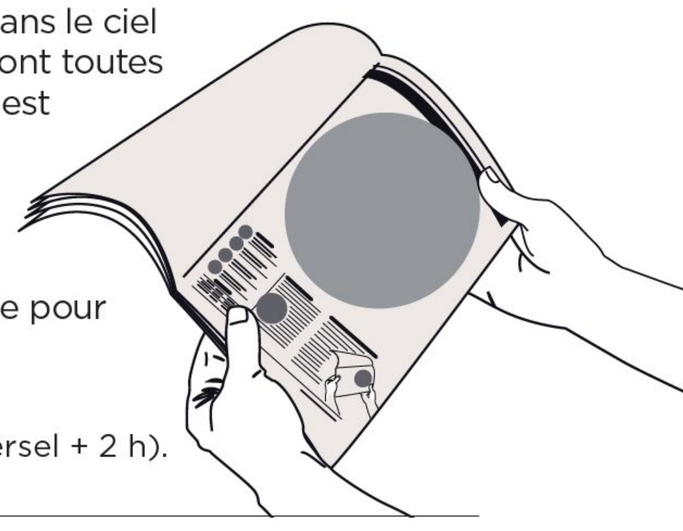
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de sorte que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

Suivez-nous au quotidien sur le Web

www.sciencesetavenir.fr

ESA-CNES-ARIANESPACE/OPTIQUE VIDÉO DU CSG

ENTRETIEN

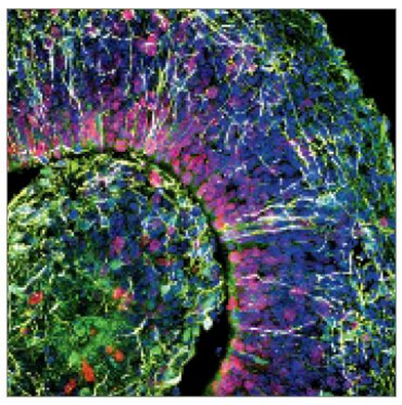
Incendie exceptionnel dans l'Aude

ABDUL SABOOR/REUTERS

Benoît Reymond, expert à l'Office national des forêts, revient sur le feu déclaré le 5 août dans le massif des Corbières, dont la vitesse de propagation record a ravagé 15 000 hectares en moins de 24 heures. **sciav.fr/943feu**

REPLAY

Tout savoir sur les organoïdes



MUOTRI LAB/AFP

Retrouvez en vidéo le live Twitch organisé sur ces « mini-organes » cultivés en laboratoire. Stéphanie Descroix et Fanny Jaulin, directrices de recherche à l'institut Curie et à l'institut Gustave-Roussy, ont répondu à toutes les questions des internautes. **sciav.fr/943organ**

Le top 5 du mois

- **On sait enfin pourquoi le clitoris est si sensible !** sciav.fr/943clito
- **Des éléphants jettent du sable sur des humains.** sciav.fr/943eleph
- **Un nouveau trou s'est formé à Yellowstone.** sciav.fr/943yellow
- **Fille ou garçon ? Ce n'est pas que le hasard.** sciav.fr/943proba
- **Pourquoi y a-t-il des peaux à moustiques ?** sciav.fr/943moustiq

REPORTAGE

Ariane 6 inaugure un nouveau satellite

Sous la lune rousse de Kourou, en Guyane, le nouveau lanceur de l'Agence spatiale européenne (ESA) a effectué son deuxième vol commercial en plaçant en orbite polaire MetOp-SG-A1, premier satellite météo européen de deuxième génération. Doté d'instruments ultraprécis pour scruter l'atmosphère, il promet des prévisions à dix jours plus fiables et un suivi renforcé des polluants et gaz à effet de serre. *Sciences et Avenir* a pu assister au lancement. sciav.fr/943ariane6

LES SUJETS QUI VOUS FONT RÉAGIR

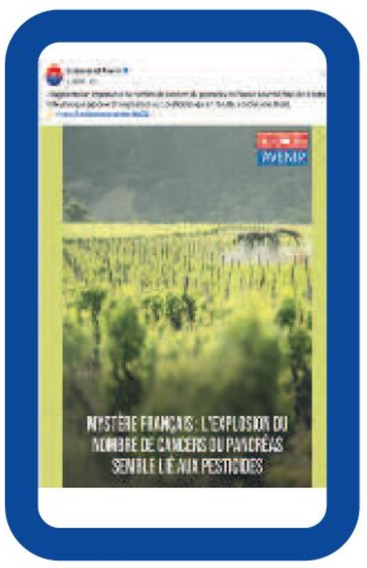
SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

Linkedin

Après 30 ans de recherche, 550 millions d'euros d'investissements et 122 patients traités avec son cœur bioartificiel, la société française Carmat a annoncé être en cessation de paiements. **sciav.fr/943carmat**

Instagram

Oublié depuis sept siècles dans la reliure d'un registre, un manuscrit de la légende d'Arthur a refait surface. Il s'agit d'une rare copie de la *Suite Vulgate*, une continuation du *Merlin* en prose. **sciav.fr/943merlin**



Facebook

L'augmentation importante du nombre de cancers du pancréas en France pourrait être liée à notre forte pratique agricole et l'exposition aux pesticides qui en résulte, conclut une étude. **sciav.fr/943panc**

SCIENCES ET AVENIR

en collaboration avec Sciences et Avenir La Recherche

Les Îles Caraïbes

ALL INCLUSIVE

UN VOYAGE ENTRE HISTOIRE, LÉGENDES ET SECRETS DES OCÉANS

« Les noms de Caraïbes, Antilles ou Îles Vierges évoquent à la fois plages immaculées, eaux turquoise, paysages volcaniques luxuriants et musiques envoûtantes.

Ils portent aussi l'empreinte de légendes, comme celle de Sainte-Ursule et des onze mille vierges, à l'origine du nom des Îles Vierges, dont l'escale à Tortola fait partie de notre itinéraire.

À bord, **André Delpuech**, conservateur général du patrimoine, présentera l'histoire des peuples premiers des Caraïbes : **Tainos et Kalinagos**. Son exposition, conçue avec le musée du quai Branly, sera visible en Martinique au moment de notre passage. Le voyage mènera aussi à Santo Domingo, capitale de Saint-Domingue, abritant un musée exceptionnel d'archéologie sous-marine.

Nous voguerons sur la mer des Caraïbes, dont le nom vient du guarani « caraïb » signifiant « fort ou brave ».

Ce sera l'occasion de **comprendre la naissance du Gulf Stream** dans cette région et son rôle majeur pour le climat européen. Ce courant réchauffe notamment les côtes bretonnes et normandes.

Didier Swingedouw, chercheur au CNRS, expliquera ses évolutions grâce aux observations satellites et aux campagnes océanographiques. »

Embarquez donc avec nous, pour un passionnant voyage aussi bien scientifique qu'historique.

LES POINTS FORTS

- UN VOYAGE TOUT INCLUS À BORD DU COSTA FASCINOSA 5*
- VOLS ALLER-RETOUR AU DÉPART DE PARIS
- PENSION COMPLÈTE ET BOISSONS INCLUSES À VOLONTÉ À BORD DU BATEAU
- ACCOMPAGNEMENT, ANIMATIONS ET CONFÉRENCES EXCLUSIVES AVEC NOS CONFÉRENCIERS

VOS CONFÉRENCIERS À BORD ! (2)

Dr Dominique LEGLU, Présidente de l'association pour l'avancement des SCIENCES (AFAS).

André DELPUECH, Chercheur à l'École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS).

Didier SWINGEDOUW, Chercheur en sciences du climat au CNRS.

À BORD DU COSTA FASCINOSA 5*

DU 22 AU 30 JANVIER 2026

A PARTIR DE **1 990 €** / PERS.(1)

En occupation double en cabine intérieure au départ de Paris

Graph. Atelier Pascale M (26)- Photo plage : Siraphol Sirichanattakul Freepik

MYCOMM Experiences

Retrouvez tous les détails de ce voyage exceptionnel sur www.sa-caraibes.fr

Renseignements | Tél. 01 84 76 22 35 | experiences@mycomm.fr

(1) Voir détails sur la brochure (2) Sous réserve de disponibilité

SARL Mycomm - 40 avenue Raspail - 94250 Gentilly • Immatriculation Atout France IM094100035 • Assurances Professionnelles by Hiscox - Tourisme Pro n° RCE1006 et n° RC1006-PJ0116 • Agence garantie par l'APST • RCS 510 368 400

(1) Autonomie du CLA 250+ Progressive Line. (2) Sur borne de charge rapide DC avec tension d'alimentation de 800 V. (3) Tarif constructeur conseillé TTC du CLA 250+ Limited Edition, hors options (commandes jusqu'au 31/12/25). Modèle présenté : CLA 250+ Limited Edition avec options au tarif constructeur conseillé de **59 700 € TTC**, autonomie jusqu'à 729 km. **Consommation électrique CLA avec technologie EQ : 12,2-14,7 kWh/100km (données cycle mixte WLTP au 29/04/25).** (4) Plus d'informations sur score-environnemental-bonus.ademe.fr. Photo non contractuelle. Limited Edition : Edition limitée. Détails sur mercedes-benz.fr. Mercedes-Benz France. RCS Versailles 622 044 287.

Pensez à covoiturer. #SeDéplacerMoinsPolluer